



TESIS - RE142551

**STUDI KONSERVASI SUMBER AIR TERHADAP
KETERSEDIAAN AIR DI KABUPATEN MOJOKERTO
(STUDI KASUS KECAMATAN PACET)**

CHINTA ADVENT SISCA

NRP 3312202810

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ali Masduqi, ST., MT

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SANITASI LINGKUNGAN

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER

SURABAYA

2015



THESIS - RE142551

**STUDY OF WATER RESOURCE CONSERVATION ON
WATER AVAILABILITY IN THE DISTRICT OF MOJOKERTO
(CASE STUDY IN SUBDISTRICT OF PACET)**

CHINTA ADVENT SISCA

NRP 3312202810

SUPERVISOR

Dr. Ali Masduqi, ST., MT

MAGISTER PROGRAMME

ENVIRONMENTAL SANITATION ENGINEERING

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2015

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)**

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

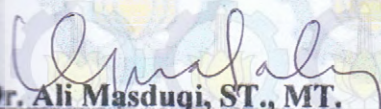
Chinta Advent Sisca

NRP. 3312 202 810


Tanggal Ujian : 09 Januari 2015

Periode Wisuda : Maret 2015

Disetujui oleh :


Dr. Ali Masduqi, ST., MT.
NIP: 19680128 199403 1 003

(Pembimbing)


Prof. Dr. Ir. Wahyono Hadi, MSc., Ph.D.
NIP: 19500114 197903 1 001

(Penguji)


Ir. Mas Agus Mardyanto, ME., Ph.D.
NIP: 19620816 199003 1 004

(Penguji)


Ir. Sugeng Mujiadi, MT.
NIP: 660 200 293

(Penguji)


Direktur Program Pascasarjana,
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP : 19640405 199002 1 001

STUDI KONSERVASI SUMBER AIR TERHADAP KETERSEDIAAN AIR DI KABUPATEN MOJOKERTO (STUDI KASUS DI KECAMATAN PACET)

Nama Mahasiswa : Chinta Advent Sisca
NRP : 3312 202 810
Pembimbing : Dr. Ali Masduqi, ST, MT

ABSTRAK

Beberapa sumber air mengalami penurunan debit, dan yang paling drastis adalah salah satu sumber air bersih PDAM Sumber Jubel di Kecamatan Pacet Kabupaten Mojokerto. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari Bagian Produksi PDAM “Djoebel Tirta” Kabupaten Mojokerto, pada pengukuran tahun 2012 debitnya turun dari 70 liter/detik menjadi 18,4 liter per detik. Penurunan debit sumber air yang terjadi tentu akan menghambat kinerja PDAM Kabupaten Mojokerto dalam peningkatan akses air bersih kepada masyarakat. Untuk itu perlu dikaji suatu upaya konservasi air pada *catchment area* Sumber Jubel guna meningkatkan ketersediaan airnya.

Konsep dari konservasi ini pada dasarnya adalah memperbesar infiltrasi melalui simpanan air oleh akar tanaman dan dalam bentuk resapan buatan seperti sumur atau embung resapan dan sejenisnya. Metode analisa yang digunakan adalah metode *thornwaite* untuk analisa evapotranspirasi dan *ffolliot* untuk analisa ketersediaan air, selanjutnya akan dianalisa neraca air pada *catchment area* Sumber Jubel.

Upaya konservasi secara vegetatif yaitu melalui penanaman sengon mampu menambah volume air tanah sebesar 2.098 m³/tahun per hektarnya dan konservasi secara non vegetatif melalui pembuatan embung mampu menambah volume air tanah sebanyak 141,39 m³/tahun per embung. Biaya yang diperlukan untuk penanaman sengon adalah Rp 374.000.000,-, sedangkan untuk pembuatan embung sebesar Rp 733.792.800,-.

Kata kunci : konservasi, ketersediaan air, kecamatan pacet.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDY OF WATER RESOURCE CONSERVATION ON WATER AVAILABILITY IN THE DISTRICT OF MOJOKERTO

(CASE STUDY IN SUBDISTRICT OF PACET)

Name : Chinta Advent Sisca
NRP : 3312 202 810
Supervisor : Dr. Ali Masduqi, ST, MT

ABSTRACT

Some water sources decreased, and the most drastic is Sumber Jubel in District Pacet of Mojokerto Regency . Based on information obtained from the Production Department taps " Djoebel Tirta " Mojokerto , in 2012 measurement debits fell from 70 liters / sec to 18.4 liters per second. Decrease discharge occurring water sources will certainly hamper the performance of PDAM Mojokerto in increasing access to clean water to the community. For that needs to be studied in an effort to conserve water catchment area Source Jubel to increase water availability .

The concept of conservation is essentially increase water infiltration through savings by plant roots and artificial recharge as wells or infiltration ponds. The analytical methods used are Thornwaite method for analysis of evapotranspiration and ffolliot for analysis of water availability , will be analyzed water balance in the catchment area of Jubel .

Conservation efforts vegetatively by planting sengon can increase the volume of ground water by 2,098 m³ / year per hectare and non- vegetative conservation through the creation of ponds capable of increasing the volume of ground water as much as 141,39 m³ / year for each pond. Cost required for planting sengon is Rp 374.000.000, - , whereas for the manufacture of pond is Rp 733.792.800 , -

Keywords : conservation , water availability , subdistrict of pacet.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDI KONSERVASI SUMBER AIR TERHADAP KETERSEDIAAN AIR DI KABUPATEN MOJOKERTO (STUDI KASUS DI KECAMATAN PACET)

Nama Mahasiswa : Chinta Advent Sisca
NRP : 3312 202 810
Pembimbing : Dr. Ali Masduqi, ST, MT

ABSTRAK

Beberapa sumber air mengalami penurunan debit, dan yang paling drastis adalah salah satu sumber air bersih PDAM Sumber Jubel di Kecamatan Pacet Kabupaten Mojokerto. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari Bagian Produksi PDAM “Djoebel Tirta” Kabupaten Mojokerto, pada pengukuran tahun 2012 debitnya turun dari 70 liter/detik menjadi 18,4 liter per detik. Penurunan debit sumber air yang terjadi tentu akan menghambat kinerja PDAM Kabupaten Mojokerto dalam peningkatan akses air bersih kepada masyarakat. Untuk itu perlu dikaji suatu upaya konservasi air pada *catchment area* Sumber Jubel guna meningkatkan ketersediaan airnya.

Konsep dari konservasi ini pada dasarnya adalah memperbesar infiltrasi melalui simpanan air oleh akar tanaman dan dalam bentuk resapan buatan seperti sumur atau embung resapan dan sejenisnya. Metode analisa yang digunakan adalah metode *thornwaite* untuk analisa evapotranspirasi dan *ffolliot* untuk analisa ketersediaan air, selanjutnya akan dianalisa neraca air pada *catchment area* Sumber Jubel.

Upaya konservasi secara vegetatif yaitu melalui penanaman sengon mampu menambah volume air tanah sebesar 2.098 m³/tahun per hektarnya dan konservasi secara non vegetatif melalui pembuatan embung mampu menambah volume air tanah sebanyak 141,39 m³/tahun per embung. Biaya yang diperlukan untuk penanaman sengon adalah Rp 374.000.000,-, sedangkan untuk pembuatan embung sebesar Rp 733.792.800,-.

Kata kunci : konservasi, ketersediaan air, kecamatan pacet.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDY OF WATER RESOURCE CONSERVATION ON WATER AVAILABILITY IN THE DISTRICT OF MOJOKERTO

(CASE STUDY IN SUBDISTRICT OF PACET)

Name : Chinta Advent Sisca
NRP : 3312 202 810
Supervisor : Dr. Ali Masduqi, ST, MT

ABSTRACT

Some water sources decreased, and the most drastic is Sumber Jubel in District Pacet of Mojokerto Regency . Based on information obtained from the Production Department taps " Djoebel Tirta " Mojokerto , in 2012 measurement debits fell from 70 liters / sec to 18.4 liters per second. Decrease discharge occurring water sources will certainly hamper the performance of PDAM Mojokerto in increasing access to clean water to the community. For that needs to be studied in an effort to conserve water catchment area Source Jubel to increase water availability .

The concept of conservation is essentially increase water infiltration through savings by plant roots and artificial recharge as wells or infiltration ponds. The analytical methods used are Thornwaite method for analysis of evapotranspiration and ffolliot for analysis of water availability , will be analyzed water balance in the catchment area of Jubel .

Conservation efforts vegetatively by planting sengon can increase the volume of ground water by 2,098 m³ / year per hectare and non- vegetative conservation through the creation of ponds capable of increasing the volume of ground water as much as 141,39 m³ / year for each pond. Cost required for planting sengon is Rp 374.000.000, - , whereas for the manufacture of pond is Rp 733.792.800 , -

Keywords : conservation , water availability , subdistrict of pacet.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **“Studi Konservasi Sumber Air Terhadap Ketersediaan Air Di Kabupaten Mojokerto (Studi Kasus Di Kecamatan Pacet)”**. Penulisan tesis ini adalah tujuan akhir untuk dapat menyelesaikan Program Studi Magister Teknik Sanitasi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr.Ali Masduqi, ST, MT, selaku dosen pembimbing dengan penuh kesabaran dan kesungguhan bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan arahan dan petunjuk selama penyusunan Tesis,
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Wahyono Hadi, MSc, PhD, Bapak Mas Agus Mardyanto, ME, PhD, dan Bapak Ir. Sugeng Mujiadi, MT, selaku dosen penguji atas masukan dan koreksinya untuk kesempurnaan Tesis ini.
3. Kedua orang tua yang luar biasa yang senantiasa mendukung dan mendoakan penulis.
4. Kepala Pusat Pendidikan dan Pelatihan (PUSDIKLAT) Kementerian Pekerjaan Umum yang telah memberikan kesempatan beasiswa dan dukungan administrasi untuk mengikuti pendidikan Program Magister Bidang Keahlian Manajemen Teknik Sanitasi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP ITS Surabaya.
5. Seluruh dosen, staf dan karyawan Program Pascasarjana Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuan administrasi selama penyelesaian studi ini.
6. Kepala Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum atas ijin yang diberikan kepada penulis untuk mengikuti program karyasiswa ini.

7. Suami tercinta, Riaditya Dwi Aryadi, ST., yang telah memberi semangat, mendukung dan membantu penulis dalam melewati masa perkuliahan ini hingga akhir.
8. Adik-adikku Chikita, Boy, dan Chindy yang selalu siap membantu ketika penulis membutuhkan.
9. Buah hati penulis yang telah menemani dalam menyelesaikan tesis ini walaupun masih dalam kandungan, semoga menjadi anak yang cerdas, berguna bagi bangsa dan negaranya.
10. Rekan dan sekaligus sahabatku di Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum atas bantuan dan dukungan dalam menyelesaikan Tesis ini.
11. Rekan – rekan seperjuangan yang sekaligus sahabat – sahabatku yang ada pada MTSL ITS 2013.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyusunan Tesis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tesis ini masih jauh dari sempurna, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan Tesis ini, akhirnya penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Perumusan Masalah	2
1.3.Tujuan	2
1.4.Manfaat	2
1.5.Ruang Lingkup.....	3
1.6.Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1.Peraturan Perundangan terkait Konservasi Air	5
2.2.Siklus Hidrologi	6
2.3.Aliran Limpasan.....	7
2.4.Koefisien Aliran Permukaan.....	8
2.5.Pergerakan Air Jenuh dalam Tanah.....	9
2.6.Infiltrasi.....	10
2.7.Mata Air	11
2.8.Suhu	11
2.9.Evapotranspirasi Potensial (PE).....	13
2.10 Perhitungan Neraca Air	16
2.11Sifat-sifat Tanah	18
2.12Tekstur Tanah	19
2.13Jenis Tanah.....	20

2.14Erosi.....	24
2.14.1Kelas Kemampuan Lahan.....	25
2.14.2Interaksi antara Lereng dan Vegetasi	26
2.15Pengaruh Hutan terhadap Hidrologi.....	27
2.16Analisa Hidrologi	28
2.16.1Perhitungan Curah Hujan Rata-rata.....	29
2.16.1.1Metode Rata-rata aljabar	29
2.16.1.2Metode Poligon Thiessen	29
2.16.1.3Metode Isohyet.....	31
2.16.2Periode Ulang dan Curah Hujan Rancangan	32
2.17Konservasi	33
2.17.1. Konservasi Vegetatif	34
2.17.2. Peranan vegetasi terhadap konservasi air dan tanah.....	37
2.17.3. Konservasi Non Vegetatif	38

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum	41
3.2 Pengumpulan Data.....	42
3.2.1 Data Primer	42
3.2.2 Data Sekunder	42
3.3 Analisa dan Pembahasan	43
3.3.1 Perhitungan Neraca Air	43
3.3.2 Kajian Konservasi	44
3.3.3 Aspek Biaya.....	45
3.4 Perhitungan penambahan ketersediaan air	46
3.5 Kesimpulan dan Saran	46

BAB IV GAMBARAN UMUM WILAYAH

4.1 Batasan dan Luas Wilayah	47
4.2 Keadaan Iklim	49

4.3 Keadaan Topografi.....	50
4.4 Kondisi Tanah.....	51
4.5 Status Lahan.....	52

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Water Balance	53
5.1.1 Data Curah Hujan dan Suhu.....	54
5.1.2 Perbedaan Suhu Pada Stasiun Penakaran Hujan.....	57
5.1.3 Pendugaan Suhu Pada Stasiun Penakaran Hujan Pacet.	58
5.1.4 Evapotranspirasi Potensial.	59
5.1.5 Indeks Panas Tahunan.....	59
5.1.6 Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur.	61
5.1.7 Koefisien Penyesuaian Bujur dan Bulan Setiap Stasiun.	64
5.1.8 Evapotranspirasi Potensial (PE) Wilayah.	66
5.2 Tata guna Lahan Daerah Tangkapan Air Sumber Jubel	67
5.3 Perhitungan Debit Air yang meresap ke dalam Tanah	70
5.4 Perhitungan Debit Air yang keluar dari Sumber Jubel	71
5.5 Perhitungan Neraca Air	71
5.6 Analisis Konservasi Sumber Air.....	72
5.6.1 Metode Vegetatif.....	72
5.6.1.1 Prioritas Tanaman Konservasi	73
5.6.1.2 Penanaman Sengon	75
5.6.2 Metode Non-Vegetatif	76
5.6.2.1 Embung	76
5.6.2.2 Rorak.....	78
5.6.2.3 Teras.....	79
5.7 Penambahan volume air tanah Embung.....	83
5.7.1 Analisa Curah Hujan Rata-rata.	83
5.7.2 Analisa Curah Hujan Harian Maksimum	84
5.7.2.1 Analisa Frekuensi Curah Hujan	84

5.7.2.2 Pengujian Kecocokan Jenis Sebaran	86
5.7.2.3 Perhitungan Curah Hujan Maksimum	88
5.7.2.4 Volume Resapan Embung	88
5.8 Penambahan volume air tanah oleh penanaman sengon	90
 BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 .Kesimpulan.....	91
6.2 Saran.....	92
 DAFTAR PUSTAKA.....	 93

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai C berdasarkan penggunaan lahan.....	8
Tabel 2.2 Hubungan kecepatan infiltrasi dan tekstur tanah.	10
Tabel 2.3 Koefisien Penyesuaian Menurut Bujur Dan Bulan.....	12
Tabel 2.4 Masukan Pendugaan Evapotranspirasi Potensial.....	14
Tabel 2.5 Kelas Tekstur Tanah.	19
Tabel 2.6 Jenis Tanah	20
Tabel 2.7 Kepekaan Terhadap Erosi.....	25
Tabel 2.8 Klasifikasi Kemiringan Lereng Berdasarkan USSSM	25
Tabel 2.9 Kala ulang berdasarkan tipologi kota & luas daerah pengaliran.....	32
Tabel 4.1 Luas Catchment Area Sumber Jubel.....	47
Tabel 4.2 Pembagian iklim menurut Schimdt-Ferguson.....	49
Tabel 4.3 Curah Hujan Kecamatan Pacet	49
Tabel 5.1 Curah Hujan Stasiun Pengamat Pacet No. 186 Tahun 2000-2012.	54
Tabel 5.2 Data Suhu Stasiun Klimatologi Karangploso	56
Tabel 5.3 Perbedaan Suhu.....	57
Tabel 5.4 Data Pendugaan Suhu Pada Stasiun Penakaran Hujan Pacet	58
Tabel 5.5 Nilai indeks panas bulanan pada Stasiun Hujan Pacet.....	60
Tabel 5.6 Nilai Indeks Panas Tahunan (I) dan Nilai a	60
Tabel 5.7 Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur	63
Tabel 5.8 Koordinat Stasiun Hujan.....	64
Tabel 5.9 Koefisien Penyesuaian Menurut Bujur dan Bulan	64
Tabel 5.10 Perhitungan Koefisien Penyesuaian Menurut Garis Lintang/ Bujur.....	66
Tabel 5.11 Evapotranspirasi Potensial (PE) Stasiun Hujan Pacet.....	66
Tabel 5.12 Perhitungan Koefisien Aliran Permukaan Wilayah Sumber Jubel	67

Tabel 5.13 Perhitungan besarnya debit air yang meresap ke dalam tanah pada <i>catchment</i> Sumber Jubel.....	70
Tabel 5.14 Neraca Air pada Catchment Area Sumber Jubel	72
Tabel 5.15 Syarat tumbuh jenis-jenis tanaman.....	73
Tabel 5.16 Urutan Prioritas Pengembangan Tanaman.....	74
Tabel 5.17 Kapasitas Simpanan Air Tanah Tanaman	74
Tabel 5.18 Alih Fungsi Lahan Menjadi Hutan Tanaman Sengon	75
Tabel 5.19 Analisa biaya penanaman sengon (per hektar).....	76
Tabel 5.20 Perhitungan Curah Hujan Rata-rata	84
Tabel 5.21 Analisa Frekuensi Curah Hujan.....	84
Tabel 5.22 Hasil Uji Distribusi Statistik.....	85
Tabel 5.23 Parameter Uji Distribusi Statistik dalam Log	84
Tabel 5.24 Nilai Kritis untuk Uji Chi Kuadrat.....	88
Tabel 5.25 Perhitungan χ^2 Cr.....	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi Sederhana Siklus Hidrologi.....	7
Gambar 2.2. Konsep Dasar Neraca Air.....	17
Gambar 2.3 Interaksi Lereng Dengan Vegetasi.	26
Gambar 2.4. Penetrasi Akar Pada Lapisan Tanah.....	27
Gambar 2.5. Pembagian daerah pengaruh Metode Poligon Thiessen.....	30
Gambar 2.6. Pembagian daerah pengaruh Metode Isohyet.....	31
Gambar 3.1. Bagan alir penelitian.....	41
Gambar 3.2. Bagan alir perhitungan biaya	46
Gambar 4.1. Peta daerah tangkapan air Sumber Jubel.....	48
Gambar 4.2. Peta kelerengn Kecamatan Pacet.....	50
Gambar 4.3. Peta Jenis Tanah Kecamatan Pacet	51
Gambar 4.4. Peta TAHURA R. Soerjo yang memperlihatkan status lahan di sekitar lokasi studi.....	52
Gambar 5.1. Penggunaan lahan daerah tangkapan air Sumber Jubel	69
Gambar 5.2. Tata letak embung yang ideal dalam siklus air	77
Gambar 5.3. Rorak yang Dibuat pada Teras	79
Gambar 5.4. Teras Individu	80
Gambar 5.5. Penampang Melintang Teras Bangku	82

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan pokok manusia yang sangat penting untuk menunjang kegiatan sehari-hari, seperti kebutuhan air minum, industri, pertanian dan lain-lain. Namun pemenuhan kebutuhan akan air tersebut dapat terhambat jika ketersediaannya menurun, salah satu penyebabnya adalah penurunan sumber air baku. Hal inilah yang terjadi di Kecamatan Pacet Kabupaten Mojokerto. Beberapa sumber air mengalami penurunan debit, dan yang paling drastis adalah Sumber Jubel yang terletak di Kecamatan Pacet Kabupaten Mojokerto. Sumber Jubel terletak di ketinggian 735 meter di atas permukaan laut (dpl). Dipilih sebagai lokasi studi dikarenakan potensinya yang besar. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari Bagian Produksi PDAM “Djoebel Tirta” Kabupaten Mojokerto, pada pengukuran tahun 2012 debitnya turun dari 70 liter/detik menjadi 18,4 liter per detik (PDAM, 2014).

Penurunan Sumber Jubel ini tentu berpengaruh pada tingkat pelayanan PDAM “Djoebel Tirta” Kabupaten Mojokerto dalam memenuhi kebutuhan air bersih pelanggan. Karena Sumber Jubel merupakan salah satu sumber air potensial PDAM Kab. Mojokerto. Saat ini tingkat pelayanan 66 % , untuk meningkatkan pelayanan PDAM, selain terus mencari sumber air baru, upaya konservasi sumber air pun perlu dilakukan agar sumber air tidak mati (IUWASH, 2014).

Upaya konservasi dilakukan pada daerah tangkapan Sumber Jubel yang memiliki luas 304 H a. Konsep dari konservasi ini pada dasarnya adalah memperbesar infiltrasi. Limpasan hujan dan infiltrasi merupakan dua fenomena alami yang bersifat berlawanan. Jika salah satu membesar maka yang lainnya mengecil. Dengan kata lain, mengendalikan debit sama artinya dengan mengendalikan limpasan hujan dan erosi, sedangkan mengendalikan limpasan hujan dan erosi harus dimulai dari upaya memperbesar infiltrasi pada suatu

catchment area. Selain memperbesar infiltrasi, upaya lain yang dapat dilakukan adalah pengendalian limpasan hujan dalam bentuk resapan buatan seperti sumur atau kolam resapan dan sejenisnya.

1.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dipaparkan, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas antara lain:

1. Apakah upaya konservasi yang tepat dilakukan di Sumber Jubel guna meningkatkan ketersediaan airnya?
2. Seberapa besar biaya yang diperlukan untuk upaya konservasi tersebut?
3. Seberapa besar penambahan volume ketersediaan air tanah dengan adanya upaya konservasi tersebut?

1.3. Tujuan

Tujuan dalam studi ini adalah:

1. Menentukan upaya konservasi yang tepat berdasarkan kondisi di Sumber Jubel guna meningkatkan ketersediaan airnya dengan luas daerah tangkapan sebesar 304 ha.
2. Mengkaji seberapa besar biaya yang diperlukan untuk upaya konservasi tersebut.
3. Mengkaji seberapa besar penambahan volume ketersediaan air tanah dengan adanya upaya konservasi.

1.4. Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari studi ini adalah sebagai rekomendasi perbaikan bagi instansi terkait dalam upaya memanfaatkan dan melestarikan sumber air yang ada di Mojokerto agar tetap terjaga keberadaannya.

Alternatif upaya konservasi sumber air yang ada di dalam studi ini, diharapkan dapat meningkatkan ketersediaan air di musim kemarau dan secara

tidak langsung dapat memberikan kontribusi positif terhadap penurunan debit banjir pada musim penghujan.

1.5. Ruang lingkup

Lokasi penelitian meliputi daerah tangkapan Sumber air Jubel Kecamatan Pacet Kabupaten Mojokerto. Adapun aspek yang akan dibahas adalah aspek teknis dan aspek lingkungan sebagai upaya konservasi daerah tangkapan Sumber Jubel, serta aspek biaya.

1.6. Batasan Permasalahan

Dalam penelitian terdapat beberapa batasan dalam pembahasan permasalahan yaitu:

1. Pembahasan aspek teknis meliputi analisa neraca air dan upaya konservasi terhadap ketersediaan air.
2. Pembahasan aspek biaya meliputi besarnya biaya untuk pembangunan upaya konservasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Peraturan Perundangan terkait Konservasi Air

Pelaksanaan konservasi air di Indonesia dilandasi oleh beberapa aspek hukum antara lain:

- a. Undang-Undang Dasar 1945 pasal 33 ayat (3), yang berbunyi “Bumi, air, dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh Negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat”. Disini tersirat bahwa keberadaan air perlu dikelola dan dilindungi agar dapat dimanfaatkan bagi kemakmuran rakyat.
- b. Undang-Undang No. 7 tahun 2004 tentang Sumber Daya Air pasal yang membahas mengenai sumber air antara lain pasal 1, pasal 20 sampai dengan pasal 25. Pasal 1 menyebutkan bahwa sumber air adalah tempat atau wadah air alami dan/atau buatan yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah. Keberadaan dan keberlanjutan sumber air perlu dijaga keadaan, sifat, dan fungsinya agar senantiasa memadai untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup pada waktu sekarang maupun yang akan datang. Upaya yang dapat dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut antara lain dengan melaksanakan konservasi. Pada pasal 20 konservasi sumber daya air dilakukan melalui kegiatan perlindungan dan pelestarian sumber air. Bentuk dari perlindungan dan pelestarian sumber air ini dapat berupa pemeliharaan kelangsungan fungsi resapan air dan daerah tangkapan air, serta pengisian pada sumber air. Hal ini tertuang pada pasal 22 ayat 2.
- c. Peraturan Pemerintah No. 42 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA). Sumber Daya Air yang dimaksud dalam peraturan ini meliputi air, sumber air, dan daya air yang terkandung di dalamnya. Dalam

PP ini air yang dimaksud mencakup semua air yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat. Pembahasan mengenai konservasi tertuang pada bab V, pada pasal 49 ayat 1 disebutkan bahwa konservasi sumber daya air ditujukan untuk menjaga, kelangsungan keberadaan, daya dukung, daya tampung dan fungsi sumber daya air. Seperti pada UU No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air, PP No. 42 Tahun 2008 ini juga menyebutkan salah satu bentuk konservasi sumber daya air adalah perlindungan dan pelestarian sumber air. Perlindungan dan pelestarian sumber air dapat dilakukan dengan pemeliharaan kelangsungan fungsi resapan air dan daerah tangkapan air, serta pengisian air pada sumber air. Upaya ini dapat dilakukan dengan melaksanakan kegiatan peningkatan daya resap lahan terhadap air hujan serta meningkatkan pengimbuhan air ke lapisan air tanah (akuifer).

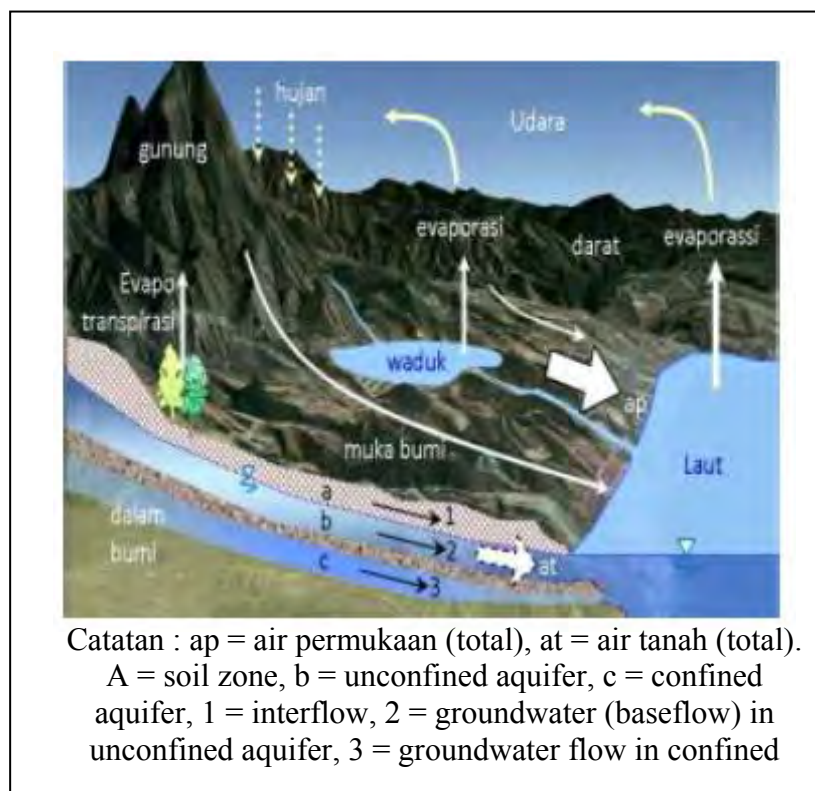
- d. Perda Kabupaten Mojokero No. 9 Tahun 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Mojokerto tahun 2012-2032 pasal 25 menyebutkan pemeliharaan dan perlindungan kelangsungan fungsi terhadap sumber-sumber mata air, daerah resapan air, dan daerah tangkapan air terkandung dalam rencana sistem jaringan air baku untuk air bersih.

2.2. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi seringkali digambarkan dengan air menguap dari permukaan laut akibat energi panas matahari. Uap air yang terbentuk tersebut kemudian dibawa udara yang bergerak dan mengalami kondensasi, sehingga membentuk butir-butir air, yang akan jatuh kembali sebagai hujan. Hujan tersebut dapat jatuh di laut, darat dan sebagian menguap kembali sebelum mencapai ke permukaan bumi.

Hujan yang jatuh di permukaan bumi akan menyebar ke berbagai arah

dengan beberapa cara. Sebagian akan tertahan sementara di permukaan bumi sebagai genangan, dan sebagian akan mengalir menjadi aliran permukaan. Jika permukaan tanah porus, sebagian air akan mengalami infiltrasi atau meresap ke dalam tanah. Sebagian lagi akan kembali melalui penguapan dan transpirasi oleh tanaman. Pada kondisi tertentu air dapat mengalami peristiwa yang disebut interflow yaitu mengalir secara lateral pada zona kapiler. Uap air dalam zona kapiler dapat juga kembali ke permukaan tanah kemudian menguap. Air yang tersimpan dalam zona jenuh air disebut air tanah. Air tanah ini bergerak sebagai aliran air tanah melalui batuan atau lapisan tanah sampai keluar ke permukaan sebagai mata air (spring) atau sebagai rembesan ke danau, waduk, sungai atau ke laut.



Gambar 2.1 Ilustrasi sederhana siklus hidrologi (Kodoatie, 2012)

2.3. Aliran Limpasan

Merupakan bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju ke sungai, danau dan lautan. Air hujan yang jatuh ke permukaan

tanah ada yang langsung masuk ke dalam tanah atau disebut air infiltrasi. Sebagian lagi tidak sempat masuk ke dalam tanah dan oleh karenanya mengalir di atas permukaan tanah ke tempat yang lebih rendah. Ada juga bagian dari air hujan yang telah masuk ke dalam tanah, terutama pada tanah yang hampir atau telah jenuh, air tersebut ke luar ke permukaan tanah lagi dan lalu mengalir ke bagian yang lebih rendah. Aliran air permukaan yang disebut terakhir sering juga disebut air larian atau limpasan (Mahbub, 2012)

Curah hujan yang jatuh terlebih dahulu memenuhi air untuk evaporasi, intersepsi, infiltrasi, dan mengisi cekungan tanah baru kemudian air larian berlangsung ketika curah hujan melampaui laju infiltrasi ke dalam tanah.. Faktor yang mempengaruhi volume air larian adalah bentuk dan ukuran DAS, topografi, dan tata guna lahan. Vegetasi dapat menghalangi jalannya air larian dan memperbesar jumlah air infiltrasi dan masuk ke dalam tanah.

2.4. Koefisien Aliran Permukaan

Koefisien aliran permukaan (C) adalah bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya air larian terhadap besarnya curah hujan.

$$C = \frac{\text{Air Larian (mm)}}{\text{Curah hujan (mm)}}$$

Misalnya C untuk hutan adalah 0,1 artinya 10% dari total curah hujan akan menjadi aliran permukaan. Angka C ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan apakah suatu DAS telah mengalami gangguan fisik. Nilai C yang besar berarti sebagian besar air hujan menjadi air larian, maka ancaman erosi dan banjir akan besar. Besaran nilai C akan berbeda-beda tergantung penggunaan lahan.

Tabel 2.1 Nilai C berdasarkan penggunaan lahan

No.	Tutupan Lahan	Nilai C
1	Hutan Primer	0,01
2	Hutan Sekunder	0,05

3	Kebun campuran	0,5
4	Ladang-Tegalan	0,5
5	Perkebunan	0,5
6	Semak belukar	0,3
7	Sawah	0,2
8	Jalan Aspal	0,7
9	Lahan Terbuka	0,95
10	Pemukiman	0,9

Sumber: Mukhoriyah, 2012

2.5. Pergerakan Air Jenuh dalam Tanah

Air hujan yang memasuki tanah, mula-mula menggantikan udara yang terdapat dalam pori makro dan kemudian pori mikro. Air tambahan berikutnya akan bergerak ke bawah melalui proses pergerakan air jenuh. Gerakan ini berlangsung terus selama cukup air ditambahkan dan tidak ada penghalang. Pergerakan air jenuh ditentukan oleh dua faktor, yaitu (1) daya air yang bergerak (driving force), dan (2) kemampuan pori melalukan air (hydraulic conductivity = hantaran hidrolik) (Hakim *et al.* 1986).

Jumlah air yang bergerak melalui profil tanah ditentukan oleh faktor-faktor: (1) jumlah air yang ditambahkan, (2) kemampuan infiltrasi permukaan tanah, (3) hantaran hidrolik horizon-horizon, dan (4) jumlah air yang ditahan oleh profil tanah pada keadaan kapasitas lapang.

Tekstur dan struktur berbagai horizon menentukan pengaruh keempat faktor tersebut. Tanah berpasir mempunyai kemampuan infiltrasi dan hantaran hidrolik tinggi serta daya menahan air yang rendah, sehingga pergerakan air jenuh lebih mudah dan cepat. Sebaliknya, tanah bertekstur halus umumnya mempunyai perkolasi air rendah karena penyumbatan pori oleh pembengkakan koloid tanah, serta adanya udara yang terjepit.

2.6. Infiltrasi

Infiltrasi adalah peristiwa masuknya air ke dalam tanah. Perkolasi adalah peristiwa bergerakanya air ke bawah dalam profil tanah. Laju infiltrasi adalah banyaknya air per satuan waktu yan masuk melalui permukaan tanah. Laju maksimum air dapat masuk ke dalam tanah pada suatu saat disebut kapasitas infiltrasi (Arsyad 2000).

Selama intensitas hujan (laju penyediaan air) lebih kecil dari kapasitas infiltrasi, maka laju infiltrasi sama dengan intensitasi hujan. Jika intensitas hujan melampaui kapasitas infiltrasi maka terjadilah genangan air di atas permukaan tanah atau aliran permukaan

Kapasitas infiltrasi rata-rata berkorelasi dengan sifat-sifat fisik tanah; korelasi adalah positif terhadap porositas tanah dan kandungan bahan organik, dan negatif terhadap kandungan liat dan berat isi tanah. Harga-harga untuk tanah-tanah bervegetasi secara karakteristik adalah lebih tinggi tergantung pada tipe vegetasi dan faktor-faktor lainnya. Pemadatan oleh hujan, hewan, ataupun peralatan yang berat secara drastis dapat mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap ar dengan menghilangkan ruang pori non-kapiler (Lee 1980).

Tabel 2.2 Hubungan kecepatan infiltrasi dan tekstur tanah

Tekstur tanah	Kecepatan Infiltrasi (mm/jam)	Kriteria
Pasir berlempung	25-50	Sangat cepat
Lempung	15-25	Cepat
Lempung berdebu	7,5-15	Sedang
Lempung berliat	0,5-7,5	Lambat
Liat	< 0,5	Sangat lambat

Sumber: Kusnaedi, 2011

2.7. Mata Air

Menurut UU No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air Pasal 35, mata air merupakan salah satu sumber air. Dalam ilmu hidrogeologi mata air merupakan titik atau terkadang berbentuk suatu area kecil tempat air tanah muncul atau dilepaskan dari suatu akuifer (Kodoatie, 2012). Kebanyakan air yang bersumber dari mata air kualitasnya baik sehingga umumnya digunakan sebagai sumber air minum oleh masyarakat sekitarnya (Arthana, 2007).

Dalam siklus hidrologi air mengalir dari tempat yang tinggi (gunung, pegunungan, dataran tinggi) ke tempat yang rendah (dataran rendah, daerah pantai) dan bermuara ke wadah air (laut, danau), air meresap ke dalam tanah (infiltrasi) dan mengalir juga secara gravitasi dari dalam tanah dengan elevasi yang lebih tinggi ke lebih rendah. Selanjutnya air yang mengisi pori-pori tanah ini membentuk suatu tempat penyimpanan air tanah yang disebut akuifer. Akibat patahan lapisan batuan, air tanah pada akuifer memancar ke permukaan membentuk suatu mata air (Kodoatie, 2012).

Pengelolaan mata air didasarkan pada daerah imbuhan (*recharge area*) dan daerah lepasan (*discharge area*). *Recharge area* merupakan daerah resapan air yang mampu menambah air tanah secara alamiah dan letaknya berada di elevasi yang lebih tinggi dari mata air. Sedangkan *discharge area* merupakan daerah pemanfaatan dari air tanah tersebut dan berada di hilir dengan morfologi berupa dataran rendah.

Tiga faktor yang menentukan besarnya debit mata air adalah permeabilitas akuifer, luasan daerah resapan (*recharge area*) yang mengisi akuifer, dan besarnya pengisian air tanah (*groundwater recharge*) (Davis and deWeist 1966).

2.8. Suhu

Suhu udara dapat disebut sebagai ukuran derajat panas udara. Suhu udara umumnya diukur berdasarkan skala tertentu menggunakan thermometer. Beberapa faktor yang mempengaruhi suhu udara: tinggi tempat, daratan atau lautan, radiasi matahari, sudut datang sinar matahari, angin (Soewarno, 2000)

Data suhu berasal dari suhu rata-rata harian, bulanan dan tahunan. Adapun pengertian masing-masing adalah (A.G Kertasapoetra, 2005):

1. Suhu rata-rata harian, yaitu:
 - a. Dengan menjumlahkan suhu maksimum dan minimum hari tersebut, selanjutnya dibagi dua.
 - b. Dengan mencatat suhu setiap jam pada hari tersebut selanjutnya dibagi 24.
2. Suhu rata-rata bulanan, yaitu dengan menjumlahkan suhu rata-rata harian, yang selanjutnya dibagi 30;
3. Suhu rata-rata tahunan, yaitu dengan menjumlahkan suhu rata-rata bulanan, yang selanjutnya dibagi 12;
4. Suhu normal adalah angka rata-rata suhu yang diambil dalam waktu 30 tahun.

Di Indonesia tidak semua stasiun mempunyai data suhu udara. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan pendugaan suhu udara dari stasiun terdekat dengan mempertimbangkan faktor ketinggian tempat. Untuk penyesuaian ini digunakan cara Mock (1973).

$$\Delta t = 0,006 (z_1 - z_2) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.1)$$

Dengan:

Δt = perbedaan suhu antara stasiun pengukuran dengan stasiun pengukuran yang dianalisa ($^\circ\text{C}$)

z_1 = elevasi stasiun pengukuran suhu (m)

z_2 = elevasi stasiun hujan yang dianalisa (m)

Tabel 2.3 Koefisien Penyesuaian Menurut Bujur Dan Bulan

Bujur / Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sept	Okt	Nov	Des
50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.7
49	0.75	0.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	0.93	0.76	0.71
48	0.76	0.8	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	0.93	0.77	0.72
47	0.77	0.8	1.02	1.14	1.3	1.32	1.33	1.22	1.04	0.93	0.78	0.73
46	0.79	0.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	0.94	0.79	0.74
45	0.8	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
44	0.81	0.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.3	1.2	1.04	0.95	0.8	0.76
43	0.81	0.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.2	1.04	0.95	0.81	0.77
42	0.82	0.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	0.95	0.82	0.79
41	0.83	0.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	0.96	0.82	0.8
40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
39	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82
38	0.85	0.84	1.03	1.1	1.23	1.23	1.25	1.17	1.04	0.96	0.84	0.83
37	0.86	0.84	1.03	1.1	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	0.97	0.85	0.83
36	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	0.97	0.86	0.84

Bujur / Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sept	Okt	Nov	Des
35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
34	0.88	0.85	1.03	1.09	1.2	1.2	1.22	1.16	1.03	0.97	0.87	0.86
33	0.88	0.86	1.03	1.09	1.19	1.2	1.22	1.15	1.03	0.97	0.88	0.86
32	0.89	0.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	0.98	0.88	0.87
31	0.9	0.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.2	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
30	0.9	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.2	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
29	0.91	0.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	0.98	0.9	0.89
28	0.91	0.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	0.98	0.9	0.9
27	0.92	0.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	0.99	0.9	0.9
26	0.92	0.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
20	0.95	0.9	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1	0.93	0.94
15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
10	1	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.01	1.02	0.98	0.99
5	1.02	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1	1.04	1.01	1.04
-5	1.06	0.95	1.04	1	1.02	0.99	1.02	1.03	1	1.05	1.03	1.06
-10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1	1.01	1	1.06	1.05	1.1
-15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1	1	1.07	1.07	1.12
-20	1.14	1	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1	1.08	1.09	1.15
-25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1	1.1	1.11	1.18
-30	1.2	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.9	0.96	1	1.12	1.14	1.21
-35	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1	1.13	1.17	1.25
-40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1	1.15	1.2	1.29
-42	1.28	1.07	1.07	0.92	0.85	0.76	0.82	0.92	1	1.16	1.22	1.31
-44	1.3	1.08	1.07	0.92	0.83	0.74	0.81	0.91	0.99	1.17	1.23	1.33
-46	1.32	1.1	1.07	0.91	0.82	0.72	0.79	0.9	0.99	1.17	1.25	1.35
-48	1.34	1.11	1.08	0.9	0.8	0.7	0.76	0.89	0.99	1.18	1.27	1.37
-50	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41

Sumber: Sosrodasono dan Takeda (2003)

2.9. Evapotranspirasi Potensial (PE)

Evaporasi adalah berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara (Sosrodarsono dan Takeda, 2003). Sedangkan Transpirasi merupakan proses keluarnya air dari tanaman akibat proses respirasi dan fotosintesis.

Kombinasi dua proses yang saling terpisah dimana kehilangan air dari permukaan tanah melalui proses evaporasi dan kehilangan air dari tanaman melalui proses transpirasi disebut sebagai *evapotranspirasi*.

Faktor meteorologi yang mempengaruhi besarnya evaporasi adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 2010):

1. Radiasi matahari.
2. Kecepatan Angin.
3. Kelembaban (*humiditas*) relatif.

4. Suhu (temperatur).

Faktor penting terjadinya evapotranspirasi adalah tersedianya air dalam jumlah banyak. Jika air selalu tersedia dalam jumlah yang berlimpah bagi tumbuhan untuk digunakan dalam proses transpirasi, akan lebih banyak yang digunakan dibandingkan jika jumlah air yang tersedia lebih sedikit yang dapat digunakan. Oleh karena itu, perbedaan harus dibuat antara evapotranspirasi potensial (potential evapotranspiration) dan evapotranspirasi sebenarnya terjadi (Wilson, 1993).

Dalam perhitungan evapotranspirasi potensial dapat menggunakan beberapa metode terkait data yang tersedia, diantaranya seperti tabel dibawah ini:

Tabel 2.4 Beberapa Masukan Pendugaan Evapotranspirasi Potensial (PE) Dan Masukan Data Yang Dibutuhkan Dalam Perhitungan.

No	Rumus	Data Klimatologi yang Diperlukan
	<i>Rumus-rumus yang menggunakan data suhu udara rata-rata harian:</i>	
1.	Lowry – Johnson	Suhu selama masa tanam.
2.	Thornthwaite	Suhu.
3.	Blaney – Criddle	Suhu, % sinar matahari, koefesien tanaman
	<i>Rumus-rumus yang menggunakan data suhu udara rata-rata harian dan radiasi matahari:</i>	
1.	Jansen – Haise	Suhu, radiasi matahari.
2.	Turc	Suhu, radiasi matahari.
3.	Grassi	Suhu, radiasi matahari dan koefesien tanaman.
4.	Stephen – Steward	Suhu, radiasi matahari.
5.	Makkink	Suhu, radiasi matahari.
	<i>Rumus-rumus yang menggunakan data suhu udara rata-rata harian dan kelembaban:</i>	

1.	Blaney – Morim	Suhu, % sinar matahari, kelembaban relatif, koefesien tanaman.
2.	Harmon	Suhu, kelembaban mutlak, % sinar matahari.
3.	Hargreaves	Suhu, kelembaban relatif, % sinar matahari, koefesien tanaman.
4.	Papadakis	Suhu, tekanan uap jernih, suhu rata-rata harian dan suhu minimum.
<i>Rumus-rumus Kompleks</i>		
1.	Penmann	Suhu, % sinar matahari, kelembaban relatif, koefesien tanaman.
2.	Christiansen	Suhu, kelembaban relatif, % sinar matahari, koefesien tanaman
3.	Van Bavel	Suhu, tekanan uap jernih, suhu rata-rata harian dan suhu minimum.

Sumber: CD Soemarto, 1987

Pemakaian rumus yang ada dalam perkiraan besarnya evapotranspirasi potensial (PE) umumnya sangat dipengaruhi oleh ketersediaan data. Pada studi ini untuk menghitung evapotranspirasi potensial digunakan *Thornthwaite*.

- **Evapotranspirasi Potensial Metode Thornthwaite**

Evapotranspirasi potensial adalah nilai yang menggambarkan kebutuhan lingkungan, varian vegetasi, atau kawasan pertanian untuk melakukan evapotranspirasi. *Thornthwaite* mengusulkan metode empiris menghitung evapotranspirasi potensial dari data suhu udara rata-rata bulanan, standar bulan 30 hari dan jam penyinarannya 12 jam. Adapun persamaan adalah:

$$PE_x = 16 \times \left(\frac{10 T_m}{I} \right)^a \quad (2.2)$$

$$PE = f \times PE_x \quad (2.3)$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1,514} \quad (2.4)$$

$$a = (6,75 \cdot 10^{-7}) \cdot I^3 - (7,71 \cdot 10^{-5}) \cdot I^2 + (1,792 \cdot 10^{-2}) \cdot I + 0,49239 \quad (2.5)$$

Dengan:

T_m = suhu udara rata-rata bulanan ($^{\circ}\text{C}$)

f = Koefesien penyesuaian hubungan antara jumlah jam dan hari terang berdasarkan lokasi

I = indeks panas tahunan

PE_x = Evapotranspirasi potensial yang belum disesuaikan faktor f (mm/bulan)

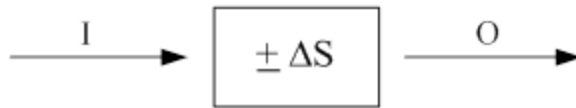
PE = Evapotranspirasi potensial (mm/bulan)

2.10 Perhitungan Neraca Air

Water balance (neraca air) adalah suatu analisa yang menggambarkan pemanfaatan sumber daya air suatu daerah tinjauan yang didasarkan pada perbandingan antara kebutuhan dan ketersediaan air. Keseimbangan air merupakan proses keluar masuk dan storage air dalam suatu ruang tinjau dalam hal ini pada daerah tangkapan air Sumber Jubel.

Pendekatan strategis merupakan pendekatan dengan metode keseimbangan antara suplai dan kebutuhan serta antisipasi atau berusaha menghindari ancaman dari dampak kekeringan (Kodoatie dan Sjarief 2010). Pendekatan harus berdasar pada keseimbangan air antara ketersediaan dan kebutuhan, dari sisi ketersediaan sumber daya air yang ada harus terjamin keberadaannya yang berkelanjutan. Sedangkan dari sisi kebutuhan, air yang dimanfaatkan harus lebih kecil atau sama dengan ketersediaan. Dari strategi tersebut maka akan diurai lebih dalam konsep dan metode yang akan digunakan dalam penelitian.

Konsep neraca air pada dasarnya menunjukkan keseimbangan antara jumlah air yang masuk (inflow) dan yang keluar (outflow) dalam suatu proses sirkulasi air pada periode tertentu (Sri Harto, 2000). Secara umum persamaan neraca air dirumuskan dengan:



Gambar 2.2. Konsep Dasar Neraca Air (Sri Harto, 2000)

Secara umum persamaan neraca air dirumuskan dengan:

$$I = O \pm \Delta S \quad (2.6)$$

I = masukan (inflow)

O = keluaran (outflow)

ΔS = perubahan tampungan.

Neraca air merupakan hubungan antara masukan air total dan keluaran air total yang terjadi pada suatu. Teknik neraca air sebagai salah satu subjek utama dalam hidrologi, merupakan suatu cara untuk mendapatkan jawaban penting atas permasalahan praktis hidrologi, yaitu dalam hal evaluasi kuantitatif sumberdaya air wilayah, serta perubahan akibat intervensi kegiatan manusia. Informasi neraca air sungai diperlukan untuk operasional pengelolaan dan prakiraan hidrologi dalam pengelolaan air umumnya.

Faktor-faktor yang digunakan dalam perhitungan dan analisis neraca air adalah ketersediaan air dari aliran air tanah (air yang meresap dalam tanah) dan kebutuhan air dari tiap daerah layanan (kebutuhan air tanah sendiri untuk air bersih PDAM berupa debit output Sumber Jubel yang digunakan sebagai sumber air bersih PDAM Kab. Mojokerto). Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung neraca air adalah sebagai berikut:

$$Q_{\text{ketersediaan}} = Q_{\text{kebutuhan}} \pm \Delta S \quad (2.7)$$

Keterangan:

$Q_{\text{ketersediaan}}$ = debit ketersediaan air tanah

$Q_{\text{kebutuhan}}$ = debit kebutuhan air tanah

ΔS = perubahan tampungan

Untuk mengetahui jumlah air yang meresap dalam tanah ditentukan dengan perhitungan potensi air tanah dengan pendekatan empiris dengan persamaan dari Ffolliot:

$$R = (P - PE) \cdot A_i \cdot (1 - Cro) \quad (2.8)$$

Keterangan:

R = Volume air yang meresap ke dalam tanah (m^3)

P = Curah hujan (m/tahun)

PE = Evapotranspirasi Potensial (m/tahun)

Ai = Luasan *catchment area* (m^2)

Cro = Koefisien limpasan permukaan

2.11. Sifat-sifat Tanah

Tanah adalah suatu tubuh alam yang tersusun oleh bahan-bahan padat (hancuran batu, mineral/pelikan dan bahan organik, cairan dan gas), terdapat di permukaan lahan, menempati ruang tertentu, dan dicirikan oleh horison dan/atau lapisan, yang dapat dipisahkan dari bahan asalnya karena telah mengalami penambahan, pelenyapan, pemindahan dan malih wujud energi dan bahan penyusunnya. Tubuh tanah ini terbentuk oleh adanya saling tindak antara bahan induk tanah di suatu loka dengan lingkungannya yang melibatkan aneka proses pembentukan tanah (Buol *et al.* 1980; Soil Survey Staff 1998, diacu dalam Mega 2010). Tekstur tanah menunjukkan komposisi partikel penyusun tanah (separat) yang dinyatakan sebagai perbandingan proporsi (%) relatif antara fraksi pasir (*sand*) (berdiameter 2,00-0,20 mm atau 2000-200 μm), debu (*silt*) (berdiameter 0,20-0,002 mm atau 200-2 μm) dan liat (*clay*) (<2 μm). Proporsi fraksi menurut kelas tekstur tanah dapat dilihat pada tabel 4. Struktur merupakan kenampakan bentuk atau susunan partikel-partikel primer tanah (pasir, debu dan liat individual) hingga partikel-partikel sekunder (gabungan partikel-partikel primer yang disebut *ped* (gumpalan) yang membentuk agregat (bongkah). Porositas adalah proporsiruang pori total (ruang kosong) yang terdapat dalam satuan volume tanah yang dapat ditempati oleh air dan udara, sehingga merupakan indikator kondisi drainase dan aerasi tanah (Hanafiah 2005).

2.12. Tekstur Tanah

Tekstur tanah merupakan relatif fraksi pasir, debu dan liat yang menyusun masa tanah. Tekstur tanah turut menentukan tata air dalam tanah, berupa kecepatan infiltrasi, penetrasi dan kemampuan pengikat air oleh tanah (Mega dkk, 2010). Klas tekstur tanah dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 2.5. Kelas Tekstur Tanah

No	Kelas Tekstur	Sifat Tanah
1	Pasir	Rasa kasar jelas, tidak membentuk bola dan gulungan serta tidak melekat.
2	Pasir berlempung	Rasa kasar sangat jelas, membentuk bola yang mudah sekali hancur serta sedikit sekali melekat.
3	Lempung berpasir	Rasa kasar agak jelas, membentuk bola agak keras, mudah hancur serta melekat.
4	Lempung berdebu	Rasa licin, membentuk bola teguh, pita dan lekat.
5	Lempung	Rasa tidak kasar dan tidak licin, membentuk bola teguh, dapat sedikit digulung dengan permukaan mengkilat.
6	Debu	Rasa licin sekali, membentuk bola teguh, dapat sedikit digulung dengan permukaan mengkilat serta agak melekat.
7	Lempung berliat	Rasa agak kasar, membentuk bola agak teguh (kering), membentuk gulungan bila dipijit, gulungan mudah hancur serta melekat.
8	Lempung liat berpasir	Rasa kasar agak jelas, membentuk bola agak teguh (kering), membentuk gulungan bila dipijit, gulungan mudah hancur serta melekat.
9	Lempung liat berdebu	Rasa jelas licin, membentuk bola teguh, gulungan mengkilat serta melekat.
10	Liat berpasir	Rasa licin agak kasar, membentuk bola, dalam keadaan kering sukar dipijit, mudah digulung serta melekat sekali.

No	Kelas Tekstur	Sifat Tanah
11	Liat berdebu	Rasa agak licin, membentuk bola, dalam keadaan kering sukar dipijit, mudah digulung serta melekat sekali.
12	Liat berat	Rasa berat sekali, membentuk bola baik serta melekat sekali.

Sumber: Mega dkk, 2010

2.13. Jenis Tanah

Menurut Dudal dan Soepraptoharjo (1957) yang telah dimodifikasi dengan pengaruh FAO/ UNESCO jenis tanah dapat diklasifikasikan menurut tekstur maupun warnanya sebagai berikut:

Tabel 2.6. Jenis Tanah

No	Klasifikasi Tanah	Sifat Tanah
1	Organosol	Tanah organik (gambut yang tebalnya lebih dari 50 cm).
2	Litosol	Tanah yang dangkal yang berkembang diatas batuan keras dan belum mengalami perkembangan profil akibat dari erosi. Dijumpai pada daerah dengan lereng yang curam.
3	Rendzina	Tanah dengan epipedon mollik (warna gelap, kandungan bahan organik lebih 1 %, kejenuhan basa lebih 50 %, dibawahnya terdiri dari batuan kapur.
4	Grumusol	Tanah dengan kadar liat lebih dari 30 % bersifat mengembang dan mengkerut. Kalau musim kering tanah keras dan retak-retak karena mengkerut, kalau basah lengket (mengembang).
5	Gleisol	Tanah yang selalu jenuh air sehingga berwarna kelabu atau menunjukkan sifat-

No	Klasifikasi Tanah	Sifat Tanah
		sifat hidromorfik lain.
6	Aluvial	Tanah yang berasal dari endapan alluvial atau koluvial muda dengan perkembangan profil tanah lemah sampai tidak ada. Sifat tanah beragam tergantung dari bahan induk yang diendapkannya serta penyebarannya tidak dipengaruhi oleh ketinggian maupun iklim yang memiliki kandungan pasir kurang dari 60 %
7	Arenosol	Tanah berstruktur kasar dari bahan albik yang terdapat pada kedalaman sekurang-kurangnya 50 cm dari permukaan atau memperlihatkan ciri-ciri mirip horison argilik, kambik atau oksik, tetapi tidak memenuhi syarat karena tekstur terlalu kasar
8	Andosol	Tanah yang berwarna hitam sampai coklat tua dengan kandungan bahan organik tinggi, remah dan porous, licin (smeary) dan reaksi tanah antara 4.5 – 6.5. Horison bawah-permukaan berwarna coklat sampai coklat kekuningan dan kadang dijumpai pada tipis akibat semenatsi silika. Tanah ini dijumpai pada daerah dengan bahan induk vulkanis mulai dari pinggiran pantai sampai 3000 m diatas permukaan laut dengan curah hujan yang tinggi serta suhu rendah pada daerah dataran tinggi
9	Latosol	Tanah yang telah mengalami pelapukan lanjut dengan kandungan bahan organik, mineral primer dan unsur hara rendah, bereaksi masam (pH 4.5 – 5.5), terjadi akumulasi seskuioksida, tanah berwarna merah, coklat kemerahan hingga coklat kekuningan atau kuning. Tanah terdapat mulai dari daerah pantai hingga 900 m dengan curah hujan antara 2500 – 7000 mm per tahun.
10	Brunizem	Seperti Latosol, tetapi kejenuhan basa lebih dari 50 %

No	Klasifikasi Tanah	Sifat Tanah
11	Kambisol	Tanah dengan horison kambik, atau epipedon umbrik, atau mollik. Tidak ada gejala-gejala hidromorfik (pengaruh air).
12	Nitosol	Tanah dengan penumbunan liat (horison argilik). Dari horison penimbunan liat maksimum ke horison-horison dibawahnya, kadar liat kurang dari 20 %. Mempunyai sifat ortosik (Kapasitas Tukar Kation kurang dari 24 me/100 gr liat).
13	Podsolik	Merupakan tanah sangat tercuci yang berwarna abu-abu muda sampai kekuningan pada horison permukaan sedang lapisan bawah berwarna merah atau kuning dengan kadar bahan organik dan kejenuhan basa yang rendah serta reaksi tanah yang masam sampai sangat masam (pH 4.2 – 4.8). Pada horison bawah permukaan terjadi akumulasi liat dengan struktur tanah gumpal dengan permeabilitas rendah. Tanah mempunyai bahan induk batu endapan bersilika, napal, batu pasir dan batu liat. Tanah ini dijumpai pada ketinggian antara 50 – 350 m dengan curah hujan antara 2500 – 3500 mm/tahun
14	Mediteran	Tanah yang berkembang dari bahan induk batu kapur dengan kadar bahan organik rendah, kejenuhan basa sedang sampai tinggi, tekstur berat dengan struktur tanah gumpal, reaksi tanah dari agam masam sampai sedikit alkalis (pH 6.0 – 7.5). Dijumpai pada daerah mulai dari muka laut sampai 400 m pada iklim tropis basah dengan bulan kering nyata dan curah hujan tahunan antara 800 – 2500 mm.
15	Planosol	Tanah dengan horison albik yang terletak di atas horison dengan permeabilitas lambat (misalnya horison argilik atau natrik yang memperlihatkan perubahan tekstur nyata, adanya liat berat atau pragipan, dan memperlihatkan ciri-ciri hidromorfik

No	Klasifikasi Tanah	Sifat Tanah
		sekurang-kurangnya pada sebagian dari horison albik
16	Podsol	Tanah dengan bahan organik cukup tinggi yang terdapat diatas lapisan berpasir yang mengalami pencucian dan berwarna kelabu pucat atau terang. Dibawah horison berpasir terdapat horison iluviasi berwarna coklat tua sampai kemerahan akibat adanya iluviasi bahan organik dengan oksida besi dan alumunium. Tanah ini berkembang dari bahan induk endapan yang mengandung silika , batu pasir atau tufa vulkanik masam. Tanah dijumpai mulai dari permukaan laut sampai 2000 m dengan curah hujan 2500 – 3500 mm/tahun.
17	Oksisol	Tanah dengan pelapukan lanjut dan mempunyai horison oksik, yaitu horison dengan kandungan mineral mudah lapuk rendah, fraksi liat dengan aktifitas rendah, Kapasitas Tukar Kation rendah (kurang dari 16me/100 gr liat). Tanah ini juga mempunyai batas-batas horison yang tidak jelas.

Sumber: FAO dan UNESCO dalam Mega dkk, 2010

Ada beberapa jenis tanah yang dikemukakan oleh Avery, 1980 dan Komisi Kehutanan (Kennedy, 2002) jika dilihat dari sifat fisik dan hidrologinya diantaranya adalah:

1. Tanah Dalam

Jenis tanah ini terdiri atas pasir yang berpori besar yang membantu mempercepat akar mencapai kedalaman tertentu, yang termasuk jenis tanah ini adalah litosol.

2. Tanah Dangkal Batuan

Jenis tanah dimana pada kedalaman kurang dari 1 meter terdapat batuan, namun berdrainase baik. Jika batuan itu berupa batu kapur atau semacam batuan lunak , maka akar masih dapat menembus kedalaman tanah. Termasuk dalam jenis tanah ini adalah rendzina.

3. Tanah Liat Sedang

Jenis tanah ini memiliki kemiripan dengan jenis tanah dalam maupun tanah dangkal tetapi akar tetap dapat berkembang.

4. Tanah Lapisan Kedap

Tanah yang memiliki ukuran partikel besar yang dibatasi lapisan kedap. Tanah ini hanya akan tergenang air pada suatu periode tertentu. Termasuk dalam jenis adalah podsolik.

5. Tanah Dengan Kelembaban Menahan Lapisan Atas

Tanah ini memiliki kandungan air yang cukup sedikit karena tingkat permeabilitas yang rendah sehingga hanya terdapat sedikit akar tanaman yang mampu berkembang untuk mencapai kedalaman tertentu.

6. Tanah Basah Lapisan Bawah

Jenis tanah lempung abu-abu kebiruan yang terjadi di daerah yang memiliki kelembaban tertentu (suhu dingin)

7. Tanah Kaya Organik

Termasuk dalam jenis ini adalah tanah gambut.

2.14. Erosi

Erosi adalah hilangnya atau terkikisnya tanah atau bagian-bagian tanah dari suatu tempat yang diangkut oleh air atau angin ke tempat lain (Arsyad, 1989). Proses erosi bermula dari penghancuran agregat-agregat tanah sebagai akibat pukulan air hujan yang mempunyai energi lebih besar daripada daya tahan tanah. Hancuran partikel-partikel tanah yang menyumbat pori-pori tanah, menyebabkan kapasitas infiltrasi tanah menurun sehingga air mengalir di permukaan tanah sebagai limpasan permukaan (run off). Limpasan permukaan mempunyai energi untuk mengikis dan mengangkut partikel-partikel tanah. Selanjutnya jika tenaga limpasan permukaan sudah tidak mampu lagi mengangkut bahan-bahan hancuran, maka bahan-bahan hancuran tersebut akan diendapkan. Dengan demikian ada tiga proses yang bekerja secara berurutan dalam proses erosi yaitu diawali dengan penghancuran agregat-agregat tanah, pengangkutan dan diakhiri dengan pengendapan.

Dampak erosi adalah penurunan kesuburan tanah dan penurunan kapasitas tanah dalam menyerap dan menyimpan air. Erosi juga mengakibatkan pemadatan tanah akibat pukulan air hujan yang terus menerus sehingga air hujan yang jatuh tidak dapat masuk dan tersimpan di dalam tanah akhirnya terjadi limpasan permukaan. Oleh karena tidak ada atau sangat sedikit air yang tersimpan di dalam tanah sebagai air tanah (*ground water*) maka pada musim kemarau akan berakibat terjadinya kekeringan dan sebaliknya pada musim penghujan akan menyebabkan banjir.

2.14.1. Kelas Kemampuan Lahan

Kelas kemampuan lahan yaitu penilaian faktor-faktor yang menentukan daya guna lahan, kemudian mengelompokkan atau menggolongkan penggunaan lahan sesuai klasifikasi kemampuan lahan utamanya yang berhubungan dengan erosi. Kelas kemampuan lahan dapat ditentukan dalam beberapa kriteria, diantaranya adalah:

Tabel 2.7. Kepekaan Terhadap Erosi

Kelas Tanah	Kelompok Jenis Tanah	Kepekaan Terhadap Erosi
1	Aluvial, gleisol dan planosol	Tidak peka
2	Latosol	Agak peka
3	Andosol, grumusol, podsol	Peka
4	Regosol, litosol, organosol dan rendzina	Sangat peka

Sumber: Agustian, 2007

Tabel 2.8. Klasifikasi Kemiringan Lereng Berdasarkan USSSM

Kelas lereng	Kisaran Lereng (°)	Kisaran Lereng (%)	keterangan
1	< 1	0 - 2	Datar-hampir datar
2	1 - 3	3 - 7	Sangat landai
3	3 - 6	8 - 13	Landai
4	6 - 9	14 - 20	Agak curam
5	9 -25	21 - 55	Curam

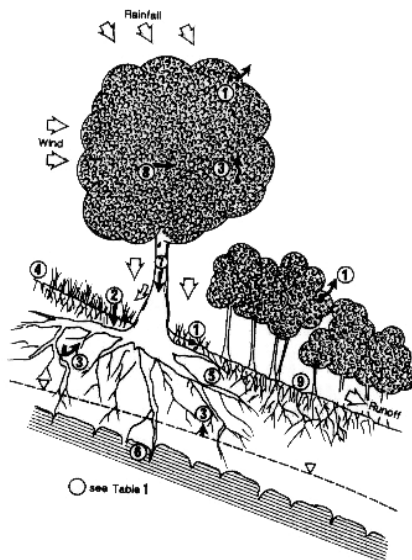
Kelas lereng	Kisaran Lereng (°)	Kisaran Lereng (%)	keterangan
6	25 - 26	56 - 140	Sangat curam
7	> 65	> 140	Terjal

Sumber: Agustian, 2007

2.14.2. Interaksi Antara Lereng dan Vegetasi

Akar tanaman memiliki kemampuan dalam menaikkan kuat geser tanah dan mengikat partikel-partikel tanah sehingga tidak mudah terbawa erosi (Greenway, 1987).

Hujan yang ditangkap oleh pohon (daun/*canopy*) dan kemudian air hujan diteruskan ke permukaan tanah oleh tanaman perdu. Air hujan akan meresap dalam tanah sehingga mengurangi *runoff*. Meresapnya air hujan ke dalam tanah akan mengisi lapisan air tanah (*aquifer*) tanah.



Gambar 2.3. Interaksi Lereng Dengan Vegetasi (Greenway, 1987)

Posisi akar tanaman di lerengan

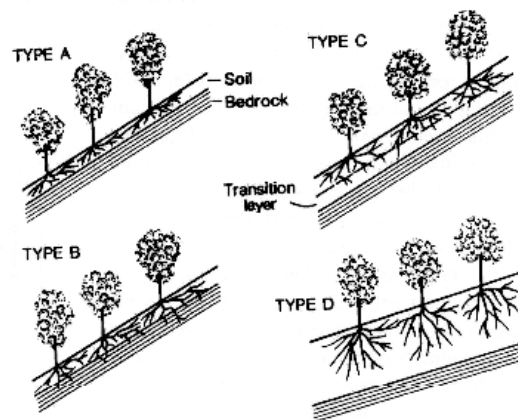
Menurut Sotir (1984), posisi penetrasi akar di bagi menjadi 4 (empat) bagian sebagai berikut:

- Tipe A, akar tanaman hanya mencapai lapisan top soil tanah, sehingga dapat untuk menanggulangi erosi permukaan

- Tipe B, akar tanaman sudah mencapai tanah asli sehingga penjangkaran akar cukup kuat untuk mencegah erosi permukaan dan longsor dangkal.
- Tipe C, akar tanaman menembus dua lapisan tanah, sehingga efek pengankuran akar lebih efektif.
- Tipe D, hampir mirip dengan tipe A tapi beda ketebalan dari top soilnya. Tipe D lebih tebal daripada tipe A

Tipe – tipe tersebut sangat tergantung dari jenis tanaman, jenis akar, jenis lapis – lapisan tanah.

Untuk mengetahui lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Penetrasi Akar Pada Lapisan Tanah (Sotir dkk, 1984)

2.15. Pengaruh Hutan terhadap Hidrologi

Keberadaan hutan berpengaruh pada kualitas dan kuantitas air. Pertama, intersepsi tajuk hutan dapat mengurangi jumlah presipitasi yang mencapai tanah mineral. Kemudian, air yang berada di dalam tanah (*soil moisture*) dilepaskan ke udara melalui sistem perakaran-batang-daun dalam proses transpirasi. Pada akhirnya, sistem perakaran, bahan organik, dan serasah meningkatkan laju infiltrasi dan kapasitas menyimpan air tanah (*ground water*). Kombinasi dari ketiga proses ini dapat mengurangi limpasan permukaan, memperlambat waktu limpasan permukaan, dan memperlambat waktu kenaikan debit sungai pada DAS yang berhutan daripada DAS yang tidak berhutan (Chang 2003).

Peranan hidrologi penutupan tajuk hutan diperbesar oleh bahan-bahan

organik pada lantai hutan dan zone perakaran. Suryatmojo (2006) menyebutkan bahwa peran hutan dalam pengendalian daur air dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Sebagai pengurang atau pembuang cadangan air di bumi melalui proses:
 - a. Evapotranspirasi
 - b. Pemakaian air konsumtif untuk pembentukan jaringan tubuh vegetasi.
2. Menambah titik-titik air di atmosfer.
3. Sebagai penghalang untuk sampainya air di bumi melalui proses intersepsi.
4. Sebagai pengurang atau peredam energi kinetik aliran air lewat:
 - a. Tahanan permukaan dari bagian batang di permukaan.
 - b. Tahanan aliran air permukaan karena adanya serasah di permukaan.
5. Sebagai pendorong ke arah perbaikan kemampuan watak fisik tanah untuk memasukkan air lewat sistem perakaran, penambahan bahan organik ataupun adanya kenaikan kegiatan biologik di dalam tanah

Pohon memberikan kemungkinan terbaik bagi perbaikan sifat tanah. Hal ini berkaitan dengan dihasilkannya serasah yang cukup tinggi oleh pohon. Akibatnya, kandungan bahan organik lantai hutan meningkat. Selain itu, kapasitas infiltrasi hutan pun menjadi lebih tinggi dibandingkan penutupan lahan bukan hutan. Tebalnya lapisan serasah juga meningkatkan aktivitas biologi tanah. Pergantian perakaran pohon (*tree root turnover*) yang amat dinamis dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan ditemukannya pori-pori berukuran besar (*macroporosity*) pada tanah hutan. Akibatnya, tanah hutan memiliki laju perkolasi yang jauh lebih tinggi (Singer & Purwanto 2006).

2.16. Analisis Hidrologi

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi seperti data curah hujan. Data hidrologi dianalisis untuk membuat keputusan dan menarik kesimpulan mengenai fenomena hidrologi berdasarkan

data hidrologi yang dikumpulkan. Untuk studi ini, analisis hidrologi digunakan dalam menentukan debit limpasan yang terjadi.

2.16.1. Perhitungan Curah Hujan Rata-rata

Jika di suatu areal terdapat beberapa stasiun pencatat curah hujan, maka dapat diambil nilai rata-rata untuk mendapatkan nilai curah hujan areal. Ada tiga cara dalam menentukan curah hujan rata-rata pada areal tertentu dari data curah hujan di beberapa stasiun pencatat curah hujan, yaitu sebagai berikut :

2.16.1.1 Metode Rata-Rata Aljabar (Metode *Arithmetic*)

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana, yaitu dengan mengambil nilai rata-rata hitung (arithmetic mean) dari pengukuran hujan di pos penakar-penakar hujan di dalam areal tersebut selama satu periode tertentu. Cara ini akan menghasilkan nilai rata-rata curah hujan yang baik, apabila daerah pengamatannya datar, penempatan alat ukur tersebar merata dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh areal.

Rumus :

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} \quad (2.9)$$

di mana :

\bar{R} = tinggi curah hujan rata-rata (mm).

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ = tinggi curah hujan pada pos penakar 1,2,3,...,n (mm).

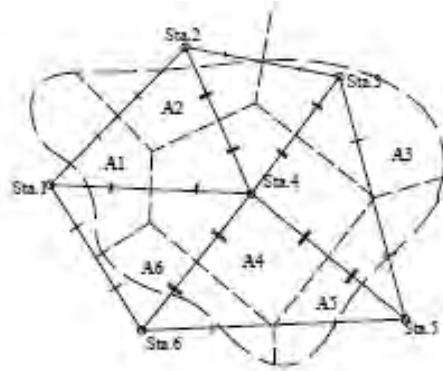
n = banyaknya pos penakar hujan.

2.16.1.2 Metode Poligon *Thiessen*

Metode ini berdasarkan rata-rata timbang (weighted average), dimana masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung di antara dua buah pos penakar.

Syarat-syarat penggunaan Metode Poligon Thiessen, yaitu :

- Stasiun hujan / pos penakar minimal tiga buah dan letak stasiun dapat tidak merata.
- Daerah yang diperhitungkan dibagi menjadi poligon-poligon, dengan stasiun hujan sebagai pusatnya.



Gambar 2.5 Pembagian daerah pengaruh Metode Poligon Thiessen

Cara perhitungan :

Misalnya 1 A adalah luas daerah pengaruh pos penakar 1, 2 A luas daerah pengaruh pos penakar 2, dan seterusnya. Jumlah $1 A + 2 A + \dots + n A = A$ adalah jumlah luas seluruh areal yang dicari nilai curah hujan rata-ratanya. Jika pos penakar 1 menakar tinggi hujan 1 R , pos penakar 2 menakar tinggi hujan 2 R , dan pos penakar n menakar n R , maka:

Rumus :

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + A_3 R_3 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.10)$$

di mana :

\bar{R} = tinggi curah hujan rata-rata (mm).

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ = tinggi curah hujan pada pos penakar 1,2,3,...,n (mm).

A_i = luas pengaruh dari stasiun pengamatan i (km^2).

2.16.1.3 Metode Isohyet

Pada metode ini, dengan data curah hujan yang ada dibuat garis-garis yang merupakan daerah yang mempunyai curah hujan yang sama (isohyet). Kemudian luas bagian di antara isohyet-isohyet yang berdekatan diukur dan nilai rata-ratanya dihitung sebagai nilai rata-rata timbang dari nilai kontur, kemudian dikalikan dengan masing-masing luasnya. Hasilnya dijumlahkan dan dibagi dengan luas total daerah maka akan didapat curah hujan areal yang dicari.

Syarat-syarat penggunaan Metode Isohyet, yaitu :

- Dapat digunakan di daerah datar maupun pegunungan.
- Stasiun hujan / pos penakar harus banyak dan tersebar merata.
- Bermanfaat untuk hujan yang sangat singkat.
- Perlu ketelitian tinggi dan diperlukan analisis yang berpengalaman.



Gambar 2.6 Pembagian daerah pengaruh Metode Isohyet

Rumus :

$$\bar{R} = \frac{\frac{R_0 + R_1}{2} A_1 + \frac{R_1 + R_2}{2} A_2 + \dots + \frac{R_{n-1} + R_n}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.11)$$

di mana :

\bar{R} = tinggi curah hujan rata-rata (mm).

$R_0, R_1, R_2, \dots, R_n$ = tinggi curah hujan pada isohyet 0,1,2,...,n (mm).

A_1, A_2, \dots, A_n = luas bagian areal yang dibatasi oleh isohyet-isohyet yang bersangkutan (km^2).

2.16.2. Periode Ulang dan Curah Hujan Rancangan

Periode ulang adalah terminologi yang sering digunakan dalam bidang sumberdaya air, yang kadang difahami secara berbeda oleh berbagai pihak. Definisi fundamental dari hidrologi statistik mengenai "periode ulang" (Haan, 1977): "Periode Ulang adalah rerata selang waktu terjadinya suatu kejadian dengan suatu besaran tertentu atau lebih besar."

Curah hujan rancangan adalah curah harian maksimum yang mungkin terjadi dalam periode waktu tertentu misal 2 tahunan, 5 tahunan dan seterusnya. Karakteristik hujan menunjukkan bahwa hujan yang besar tertentu mempunyai kala ulang tertentu, kala ulang rencana untuk saluran mengikuti standar yang berlaku seperti tabel 2.9.

Tabel 2.9 Kala ulang berdasarkan tipologi kota & luas daerah pengaliran

Tipologi Kota	Catchment Area (Ha)			
	< 10	10 - 100	100 - 500	> 500
Kota Metropolitan	2 thn	2 - 5 thn	5 - 10 thn	10 - 25 thn
Kota Besar	2 thn	2 - 5 thn	2 - 5 thn	5 - 20 thn
Kota Sedang / Kecil	2 thn	2 - 5 thn	2 - 5 thn	5 - 10 thn

Metode analisis periode ulang hujan maksimum dapat dilakukan antara lain dapat dilakukan dengan metode :

- Metoda E.J. Gumbel
- Metoda Log Pearson III
- Metode Iway Kadoya

Perbedaan maksimum yang ada tidak boleh lebih besar dari perbedaan kritis yang diijinkan (diperoleh dari tabel yang tersedia). Untuk itu perlu dilakukan uji The Goodness of Fit, yakni : Uji Chi-Square. Uji ini mengkaji ukuran perbedaan yang terdapat di antara frekuensi yang diobservasi dengan yang diharapkan dan digunakan untuk menguji simpangan secara vertikal, yang ditentukan dengan persamaan :

$$X^2Cr = \sum_{i=1}^n \left[\frac{Efi - Ofi}{Efi} \right]^2 \quad (2.12)$$

di mana :

X^2Cr : harga Chi Kuadrat

Efi : banyaknya frekuensi yang diharapkan

Ofi : frekuensi yang terbaca pada kelas i

n : jumlah data

2.17. Konservasi

Konservasi dalam UU No.7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air adalah suatu upaya memelihara keberadaan serta keberlanjutan keadaan, sifat, dan fungsi sumber daya air agar senantiasa tersedia dalam kuantitas dan kualitas yang memadai untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup, baik pada waktu sekarang maupun yang akan datang. Konservasi sumber daya air ditujukan untuk menjaga kelangsungan keberadaan daya dukung, daya tampung, dan fungsi sumber daya air. Kegiatan ini dapat berupa perlindungan dan pelestarian sumber air, pengawetan air, serta pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air dengan mengacu pada pola pengelolaan sumber daya air yang ditetapkan pada setiap wilayah sungai.

Perlindungan dan pelestarian sumber air ditujukan untuk melindungi dan melestarikan sumber air beserta lingkungan keberadaannya terhadap kerusakan atau gangguan yang disebabkan oleh daya alam, termasuk kekeringan dan yang disebabkan oleh tindakan manusia. Perlindungan dan pelestarian sumber air memiliki beberapa teknik, antara lain secara konservasi vegetatif dan non vegetatif. Teknik-teknik tersebut dapat dilakukan melalui:

1. Pemeliharaan kelangsungan fungsi resapan air dan daerah tangkapan air;
2. Pengisian air pada sumber air;
3. Perlindungan sumber air dalam hubungannya dengan kegiatan pembangunan dan pemanfaatan lahan pada sumber air;
4. Pengaturan daerah sempadan sumber air;

5. Rehabilitasi hutan dan lahan; dan/atau
6. Pelestarian hutan lindung, kawasan suaka alam, dan kawasan pelestarian alam

2.17.1 Konservasi Vegetatif

Konservasi secara vegetatif dapat menjaga keberlangsungan keberadaan tanah dan air melalui sistem perakaran tumbuhan penutup tanah yang meningkatkan kesempatan air untuk dapat diserap tanah. Dengan adanya sistem perakaran dan bahan organik, organisme akan tumbuh secara alami dan menciptakan biopori yang dapat meningkatkan porositas tanah. Hal ini akan meningkatkan infiltrasi tanah lalu air yang terserap akan tertangkap oleh akuifer dan akan dilepaskan secara bertahap dalam bentuk mata air (Kustamar dkk, 2010).

Untuk mengetahui jenis tumbuhan yang sesuai untuk ditanam pada daerah studi, perlu adanya pemilihan jenis tumbuhan yang tepat. Vegetasi tersebut haruslah memiliki kemampuan menahan dan meresapkan air di daerah kawasan resapan air.

1. Bambu

Bambu sebagai salah satu tumbuhan daerah tropis dan subtropik. Termasuk dalam divisi spermatophyta, subdivisi angiospermae, kelas monocotyledonae, ordo Graminales, family graminiae, sub family bamusoideae.

Secara alami bambu dapat tumbuh pada hutan primer maupun hutan sekunder (bekas perladangan dan belukar). Pada umumnya bambu menghendaki tanah subur, sedangkan jenis lainnya dapat tumbuh pada tanah yang kurang subur. Bambu dapat tumbuh pada daerah dengan curah hujan yang cukup, minimal 1000 mm/thn.

2. Jati Putih

Jati putih (*Gmelina arborea*) merupakan salah satu jenis tanaman yang mampu hidup padatanah yang relatif marginal. Jenis ini disebut jati putih karena disamping daunnya bentuknya hampir sama dengan jati, juga berasal dari famili yang sama yaitu Verbenaceae. Pada tanah yang subur, batangnya dapat mencapai ukuran 60-70 cm dengan tinggi mencapai 30 m bercabang banyak hingga membentuk tajuk besar dan rimbun sehingga cocok untuk menekan pertumbuhan alang-alang.

Jati Putih tumbuh pada ketinggian 90-900 m dpl, namun di Srilanka diketemukan juga tumbuh pada ketinggian 1500 m dpl. Tanaman ini tumbuh baik di daerah dengan musim kemarau yang basah maupun kering yaitu pada iklim A sampai D dengan curah hujan 750-4500 mm/tahun pada jenis tanah yang subur.

3. Mahoni

Mahoni tergolong dalam famili Meliaceae dan terdapat dua jenis spesies yang cukup dikenal di Indonesia, yaitu *Swietenia macrophylla* (mahoni berdaun lebar) dan *S. Mahagoni* (mahoni berdaun kecil). Tinggi tanaman mahoni dapat mencapai hingga 40 m dengan diameter batang mencapai 100 cm. Tajuknya berbentuk seperti kubah, daunnya berwarna hijau muda hingga hijau tua dengan panjang 10-30 cm.

Tanaman mahoni tidak memiliki persyaratan tipe tanah yang spesifik, hal ini dikarenakan mahoni secara alami dapat tumbuh pada tipe tanah alluvial, tanah vulkanik, tanah laterik, dan tanah dengan kandungan liat yang tinggi. Namun pertumbuhan mahoni akan baik pada tanah yang subur serta memiliki aerasi yang baik dengan pH berkisar 6,5 sampai 7,5 (Soerianegara dan Lemmens, 1994).

4. Pinus

Pinus (*Pinus merkusii*) termasuk dalam famili Pinaceae. Pohon pinus bertajuk lebat, berbentuk kerucut, bersistem akar tunggang yang cukup dalam dan

kuat. Akar tunggang memiliki ciri khas yaitu pada akar lembaga tumbuh terus menjadi akar pokok yang bercabang-cabang menjadi akar yang lebih kecil, sehingga memberi kekuatan yang lebih besar kepada batang, dan juga memperluas daerah perakaran sehingga dapat menyerap air dan zat-zat makanan lebih banyak. Tegakan pohon Pinus dapat mencapai 45 m dengan diameter hingga 140 cm. Daun pohon pinus berbentuk sangat khas memipih seperti jarum dan berkelompok atau berupa sisik, warnanya bervariasi antara hijau muda hingga hijau tua (Alvitasari, 2013).

Tempat tumbuh terbaik untuk pohon pinus adalah pada ketinggian 200-2000 m dpl, pada tipe iklim A dan B menurut Schmidt-Ferguson, pada curah hujan sekurang-kurangnya 1500-4000 mm/tahun dengan jumlah bulan kering 0-3 bulan. Namun sebuah penelitian terhadap tanaman pinus (*Pinus merkusii*) yang dilakukan oleh Universitas Gadjah Mada, Institut Pertanian Bogor dan Universitas Brawijaya/ Unibraw (Priyono dan Siswamartana, 2002), menyimpulkan bahwa tanaman pinus akan aman jika ditanam pada daerah yang mempunyai curah hujan di atas 2.000 mm/tahun. Pada daerah yang mempunyai curah hujan 1.500-2.000 mm/tahun disarankan agar penanaman pinus dicampur dengan tanaman lain yang mempunyai intersepsi dan evaporasi lebih rendah misalnya Puspa atau Agatis. Sedangkan untuk daerah yang mempunyai curah hujan 1.500 mm/tahun atau kurang disarankan untuk tidak menanam pinus karena akan menimbulkan kekurangan (deficit) air. Jenis ini dapat tumbuh pada berbagai jenis tipe tanah dengan lapisan tanah yang tebal/dalam (> 75 cm), pH tanah asam (4,5-5,5) dan menghendaki tekstur tanah lempung berpasir sampai pasir berlempung.

5. **Sengon**

Tanaman sengon (*Albizia Falcataria*) termasuk dalam famili Mimosaceae, yaitu keluarga petai-petaian. Pohon sengon dapat mencapai ketinggian sekitar 30-45 meter dengan diameter batang sekitar 70-80 cm. Tajuk tanaman sengon berbentuk menyerupai payung dengan rimbun daun yang tidak terlalu lebat. Daun sengon tersusun majemuk menyirip ganda dengan anak daunnya kecil-kecil dan

mudah rontok. Warna daun sengon hijau pupus. Sengon memiliki akar tunggang yang kuat menembus tanah.

Tanaman sengon dapat tumbuh baik pada tanah regosol, aluvial, dan latosol yang bertekstur lempung berpasir atau lempung berdebu dengan pH 6-7. Ketinggian tempat yang optimal antara 0-800 mdpl. Walaupun demikian sengon masih dapat tumbuh sampai ketinggian 1500 mdpl dengan temperatur 18-27°C. Tanaman sengon membutuhkan batas curah hujan minimal 1500 mm/tahun dengan kelembaban sekitar 50-75 %.

Setiap metode konservasi pasti memiliki kelebihan dan kekurangan. Untuk metode konservasi vegetatif memiliki kelebihan dan kekurangan sebagai berikut (Sinukaban, 2003):

Kelebihan:

- Memelihara kestabilan struktur tanah melalui sistem perakaran.
- Mampu menyediakan tambahan hara bagi tanaman.
- Dapat memulihkan tata air suatu DAS.
- Memiliki nilai ekonomis seperti pakan ternak, kayu, buah maupun hasil tanaman lainnya sehingga menambah penghasilan petani.

Kekurangan:

- Tidak semua tanaman dapat berfungsi sebagai tanaman konservasi, sehingga diperlukan kajian terhadap kondisi lahan dan jenis-jenis tanaman.
- Diperlukan waktu yang relatif lama untuk menuai manfaatnya.

2.17.2. Peranan vegetasi terhadap konservasi air dan tanah

- Menurut Dahlan (2004), gmelina mampu meresapkan air tanah sebesar 260 mm/tahun atau dapat menambah simpanan air tanah sebesar 2,60 juta liter per hektarnya dan sengon mampu meresapkan air tanah sebesar 366 mm/tahun atau dapat menambah simpanan air tanah sebesar 3,66 juta liter per hektarnya.
- Sedangkan sebuah penelitian oleh Utthar centre di India pada tahun 2007-2012 dalam upaya konservasi pada lahan bekas penambangan batu di India

melakukan penanaman hutan bambu seluas 106 ha, hasilnya dalam waktu 4 tahun permukaan air bawah tanah meningkat 6,3 m. Senada dengan hal tersebut, Hartanto (2010) menyimpulkan penanaman bambu serta akar rumput menjadikan lapisan tanah paling atas (top soil) terlindungi. Hasil direct shear test tanah mengalami peningkatan kuat gesernya berkisar: 17 - 53%, sedangkan kohesi mengalami peningkatan yaitu sebesar 10% -56%.

- Indrajaya dkk (2008) mendeskripsikan sifat-sifat pinus, yaitu 1) dapat mengurangi jumlah curah hujan netto dengan tingginya nilai intersepsi, 2) memperkuat lereng melalui perakaran yang panjang dan dalam, 3) dapat mengurangi gaya beban oleh air melalui evapotranspirasi yang tinggi, 4) berat pohon pinus yang tidak terlalu berat dan tidak terlalu ringan dapat meningkatkan tegangan kekang pada bidang longsor, menjadikan pinus memiliki potensi untuk mengurangi keren-tanan dan terjadinya tanah longsor. Selain itu, produk utama pinus berupa getah, dapat mempertahankan keberadaan tegakan pohon pinus sebagai pohon pengendali longsor.
- Untuk kemampuan tanaman Jati dan mahoni dalam mengkonservasi air dan tanah menurut penelitian yang dilakukan di hutan jati wilayah Cepu adalah dapat mengurangi adanya aliran permukaan. Hasil dari studi ini menyebutkan bahwa kombinasi hutan jati dan mahoni mampu menghasilkan koefisien limpasan (C) senilai 0,04, sehingga kombinasi ini mampu mereduksi aliran limpasan dan menahan terjadinya erosi (Widjajani, 2010).

2.17.3. Konservasi Non-Vegetatif

Metode konservasi non-vegetatif ini disebut juga *Artificial Recharge* atau daerah imbuhan buatan karena bertujuan untuk meningkatkan jumlah air yang dimasukkan ke dalam akuifer (Walton, 1970). Limpasan/banjir dapat dikonversi dan dikumpulkan agar meresap optimal sehingga meningkatkan ketersediaan air tanah yang berdampak positif pada debit mata air.

Peresapan buatan diharapkan dapat menahan air di musim hujan, air disimpan, sehingga menggantikan input air tanah pada saat musim kemarau. Metode peresapan buatan dapat dimodelkan dalam bentuk kolam atau sumur resapan. Hal ini tergantung pada kondisi lokasi studi. Jika lahan yang tersedia cukup luas dapat menggunakan pilihan embung atau kolam resapan. Sumur resapan sering dipakai bila akuifer yang ingin diisi terletak cukup dalam atau disaat daerahnya kurang luas untuk dibangun kolam resapan (Kodoatie, 2012).

Kelebihan dan kekurangan metode non vegetatif menurut Sinukaban (2003) adalah sebagai berikut:

Kelebihan:

- Praktis, karena manfaat dapat langsung dirasakan begitu pekerjaan selesai dibangun.
- Dengan adanya peraturan dan petunjuk teknis serta tenaga yang terampil, pekerjaan relatif mudah dilakukan.

Kekurangan:

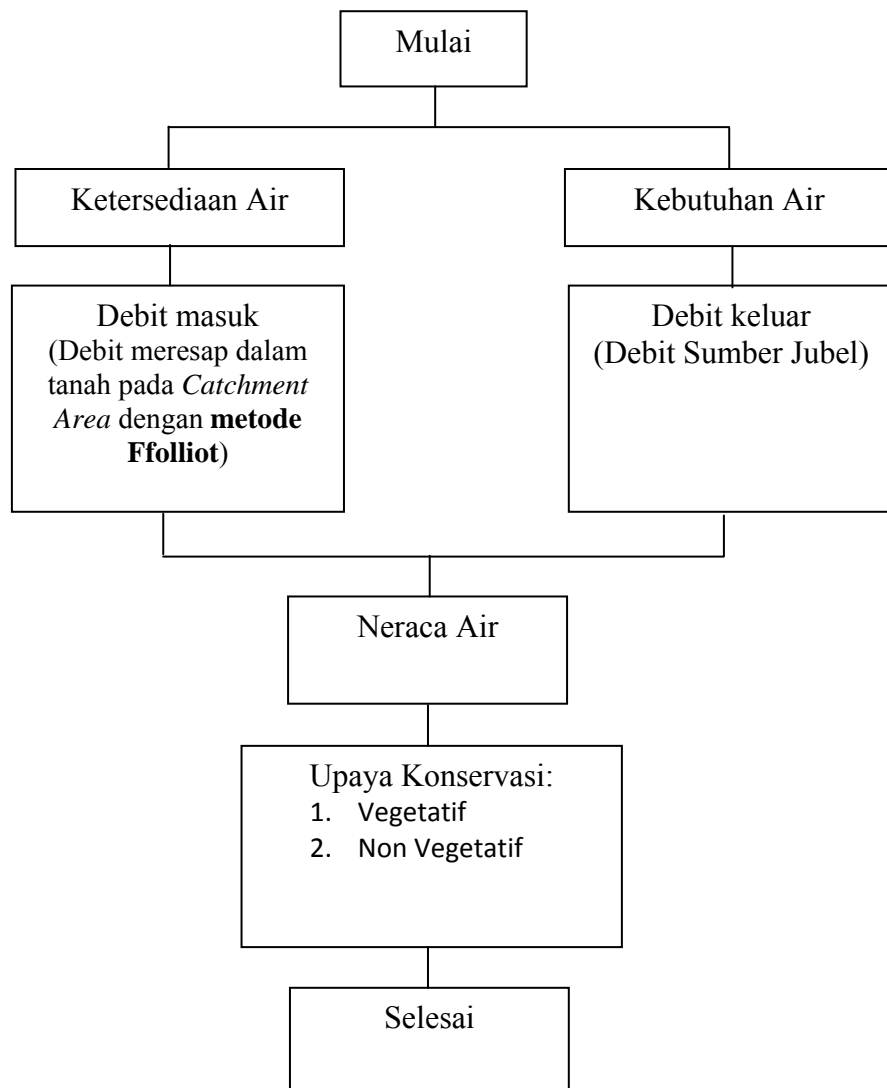
- Memerlukan biaya yang relatif besar.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Bab metodologi ini meliputi tahapan yang akan dilakukan dalam penyelesaian penelitian. Langkah penyusunan penelitian tersusun seperti gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Bagan alir penelitian

3.2. Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data pada umumnya dibedakan menjadi dua berdasarkan sumber data yaitu: data primer dan data sekunder:

3.2.1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dari pengamatan atau peninjauan langsung dilapangan. Data primer juga diperoleh dari wawancara dengan pengelola data hidrologi Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, Perusahaan Daerah Air Minum daerah sekitar, masyarakat, serta pihak terkait yang dapat memberikan informasi tentang upaya konservasi sumber air, kondisi iklim, tanah, sebaran jenis tumbuhan, dan data pendukung lain.

3.2.2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari instansi yang terkait yaitu PDAM Kabupaten Mojokerto, BPDAS Brantas, BBWS Brantas, Dinas Kehutanan Propinsi Jawa Timur, BLH Kabupaten Mojokerto, BMKG Provinsi Jawa Timur, Dinas ESDM Provinsi Jawa Timur, BPS Provinsi Jawa Timur, yang meliputi data:

- ☐ Data curah hujan
- ☐ Data debit Sumber air Jubel
- ☐ Data jumlah penduduk
- ☐ Peta administrasi
- ☐ Peta topografi/kemiringan
- ☐ Peta tata guna lahan
- ☐ Peta status lahan
- ☐ Serta data-data yang dapat mendukung penelitian ini.

3.3. Analisa dan Pembahasan

3.3.1 Perhitungan Neraca Air

Water balance (keseimbangan air) adalah suatu analisa yang menggambarkan pemanfaatan sumber daya air suatu daerah tinjauan yang didasarkan pada perbandingan antara kebutuhan dan ketersediaan air. Keseimbangan air merupakan proses keluar masuk dan storage air dalam suatu ruang tinjau dalam hal ini pada daerah tangkapan air Sumber Jubel.

Faktor-faktor yang digunakan dalam perhitungan dan analisis neraca air adalah ketersediaan air dari aliran air tanah (air yang meresap dalam tanah) dan kebutuhan air dari tiap daerah layanan (kebutuhan air tanah sendiri untuk air bersih berupa debit output Sumber Jubel). Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung neraca air adalah sebagai berikut:

$$Q_{\text{ketersediaan}} = Q_{\text{kebutuhan}} \pm \Delta S$$

Keterangan :

$Q_{\text{ketersediaan}}$ = debit ketersediaan air tanah

$Q_{\text{kebutuhan}}$ = debit kebutuhan air tanah

ΔS = perubahan tampungan

$I = O \pm \Delta S$

I = masukan (inflow)

O = keluaran (outflow)

Untuk mengetahui jumlah air yang meresap dalam tanah ditentukan dengan perhitungan potensi air tanah dengan pendekatan empiris dengan persamaan dari Ffolliot:

$$R = (P - PE) \cdot A_i \cdot (1 - C_{ro})$$

Keterangan:

R = Volume air yang meresap ke dalam tanah (m³)

P = Curah hujan (m/tahun)

PE = Evapotranspirasi Potensial (m/tahun)

A_i = Luasan cathment area (m²)

Cro = Koefisien limpasan permukaan

Perhitungan air yang masuk (*recharge*) ialah air hujan, infiltrasi yang luasannya berupa luasan *catchment area* Sumber Jubel, sedangkan untuk perhitungan air yang keluar didapatkan dari perhitungan evapotranspirasi serta debit air yang keluar dari mata air Sumber Jubel.

3.3.2 Kajian konservasi

Pada kajian konservasi akan dianalisa upaya analisa apa yang sesuai diterapkan di daerah studi. Kesesuaian ini berdasarkan kondisi fisik daerah studi yang meliputi kondisi hidrologi, topografi, tanah, kelerengan, dan kondisi lain yang mempengaruhi.

Konsep dari konservasi ini pada dasarnya adalah memperbesar infiltrasi melalui pengendalian aliran limpasan. Limpasan hujan dan infiltrasi merupakan dua fenomena alami yang bersifat berlawanan. Jika salah satu membesar maka yang lainnya mengecil. Dengan kata lain, mengendalikan debit sama artinya dengan mengendalikan limpasan hujan dan erosi, sedangkan mengendalikan limpasan hujan dan erosi harus dimulai dari upaya memperbesar infiltrasi pada suatu *catchment area*.

Upaya memperbesar infiltrasi sama artinya dengan upaya perbaikan pola pengelolaan lahan di suatu *catchment area*, karena infiltrasi sangat sensitif dipengaruhi oleh tata guna lahan, jenis dan sifat tanah, morfologi lahan, dan rekayasa teknologi di atas lahan.

Selain memperbesar infiltrasi, upaya lain yang dapat dilakukan adalah pengendalian limpasan hujan dalam bentuk resapan buatan seperti sumur atau kolam resapan dan sejenisnya. Bentuk pengendalian limpasan ini pun memberikan dampak positif bagi konservasi, berupa menampung dan mengendalikan limpasan hujan serta memberikan kesempatan yang lebih lama bagi air untuk masuk ke dalam tanah.

Metode konservasi yang akan dibahas adalah metode vegetatif dan non vegetatif. Pada metode vegetatif akan dianalisa tanaman yang sesuai dengan

kondisi lahan di daerah studi. Kemudian dibandingkan tanaman mana yang memiliki kontribusi positif terhadap daerah studi dan tanaman yang mampu menambah ketersediaan air. Pada metode non-vegetatif dianalisa beberapa alternatif metode yang dapat diterapkan pada daerah studi.

a. Metode Vegetatif

Dalam usaha konservasi vegetatif perlu diperhatikan beberapa parameter yang akan menunjang keberhasilan konservasi sumber daya air, diantaranya adalah sebagai berikut:

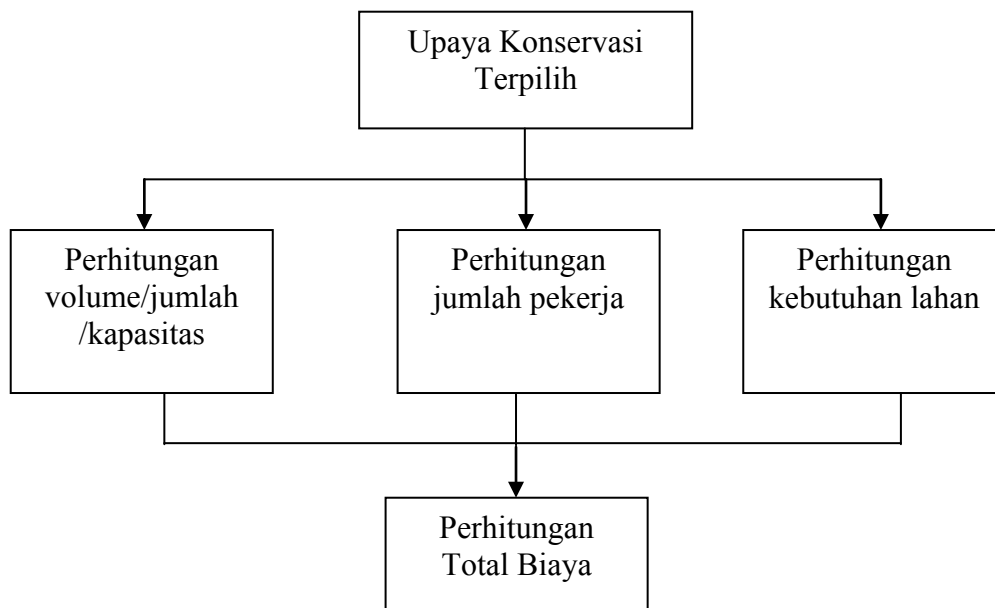
- Vegetasi tanaman yang dapat digunakan memiliki nilai ekonomi, hidrologis dan konservasi
- Jenis vegetasi disesuaikan topografi wilayah, jenis tanah dan iklim

b. Metode Non Vegetatif

Metode konservasi non-vegetatif ini disebut juga Artificial Recharge atau daerah imbuhan buatan karena bertujuan untuk meningkatkan jumlah air yang dimasukkan ke dalam akuifer (Walton, 1970 dalam Nenny dkk, 2012). Peresapan buatan diharapkan dapat menahan air di musim hujan, air disimpan, sehingga menggantikan input air tanah pada saat musim kemarau. Metode peresapan buatan dapat dimodelkan dalam bentuk kolam atau sumur resapan, maupun parit jebakan. Hal ini tergantung pada kondisi lokasi studi.

3.3.3 Perhitungan Aspek Biaya

Perhitungan biaya ini dilakukan setelah ada upaya konservasi yang terpilih berdasarkan kondisi lokasi studi. Perhitungan meliputi biaya pembangunan yang berdasarkan volume pekerjaan konservasi, jumlah pekerja.



Gambar 3.2 Bagan alir perhitungan biaya

3.4. Perhitungan penambahan ketersediaan air

Meliputi perhitungan penambahan volume air tanah di kawasan Sumber Jubel dengan adanya upaya konservasi. Penambahan dihitung berdasarkan penambahan infiltrasi dan tampungan yang terjadi akibat adanya konservasi.

3.5. Kesimpulan dan Saran

Yaitu menentukan jawaban atas rumusan permasalahan yang telah ditetapkan sebelumnya berdasarkan hasil dari proses analisa data-data yang ada. Dalam penarikan kesimpulan ini, diharapkan dapat tercapai tujuan akhir penelitian. Saran merupakan masukan yang menunjang tercapainya tujuan akhir dan manfaat penelitian.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

GAMBARAN UMUM WILAYAH

4.1. Batasan dan luas wilayah

Sumber Jubel merupakan suatu mata air yang digunakan sebagai salah satu sumber air bersih untuk PDAM Kabupaten Mojokerto. Debit aliran dan debit terpasangnya adalah sama yaitu 18,4 liter/detik.

Daerah tangkapan air Sumber Jubel terletak di Kecamatan Pacet Kabupaten Mojokerto. Ketinggiannya terletak pada 735 meter di atas permukaan laut sampai dengan 1800 meter di atas permukaan laut, yang meliputi beberapa desa yaitu desa Claket, Nogosari, Cembor, dan Sajen dengan luas total 304 ha.

Tabel 4.1 Luas Catchment Area Sumber Jubel

Desa	Luas (Ha)	Persentase (%)
Claket	147	48,35
Cembor	112	36,84
Sajen	42	13,82
Nogosari	3	0,99
Total	304	100

Sumber: Hasil Analisa

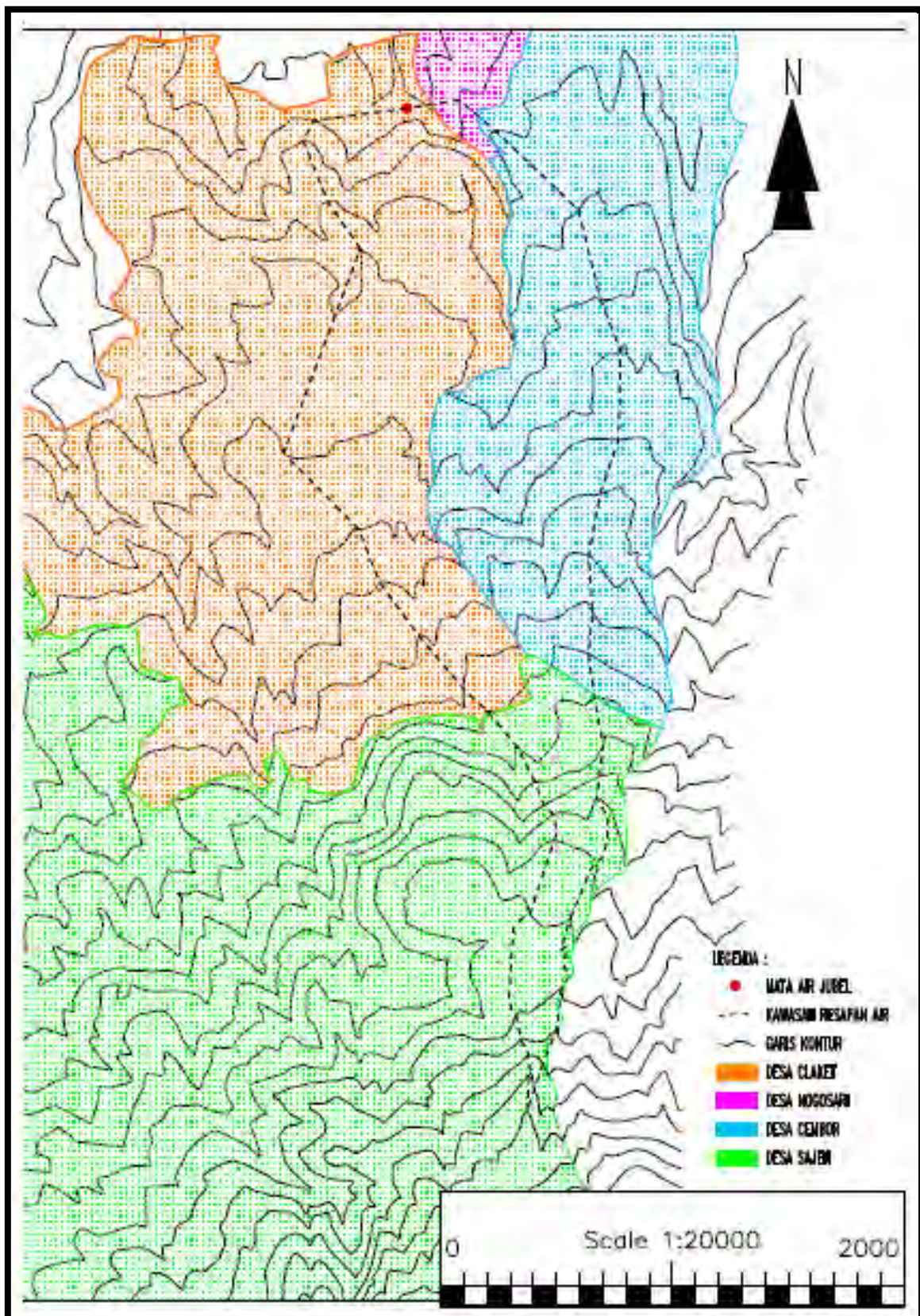
Sebagai gambaran wilayah *catchment area* Sumber Jubel, dapat dilihat pada Gambar 4.1 dengan batasan wilayah:

Utara : Desa Claket, Desa Nogosari

Barat : Desa Claket, Desa Sajen.

Timur : Desa Cembor, Desa Sajen.

Selatan: Desa Sajen.



Gambar 4.1 Peta daerah tangkapan air Sumber Jubel

4.2. Keadaan Iklim

Menurut klasifikasi iklim Schmid dan Ferguson, Kecamatan Pacet termasuk tipe iklim C dan D dengan curah hujan rata-rata dari tahun 2000-2012 sebesar 2.315 mm/tahun (BBWS Brantas, 2013).

Tabel 4.2 Pembagian iklim menurut Schimdt-Ferguson

Tipe Iklim	Nilai Q (%)	Keadaan Iklim
A	< 14,3	Daerah sangat basah
B	14,3 - 33,3	Daerah basah
C	33,3 – 60	Daerah agak basah
D	60 – 100	Daerah sedang
E	100 – 167	Daerah agak kering
F	167 – 300	Daerah kering
G	300 – 700	Daerah sangat kering
H	>700	Daerah ekstrim kering

Sumber : BMKG Juanda, 2011

Tabel 4.3 Curah Hujan Kecamatan Pacet

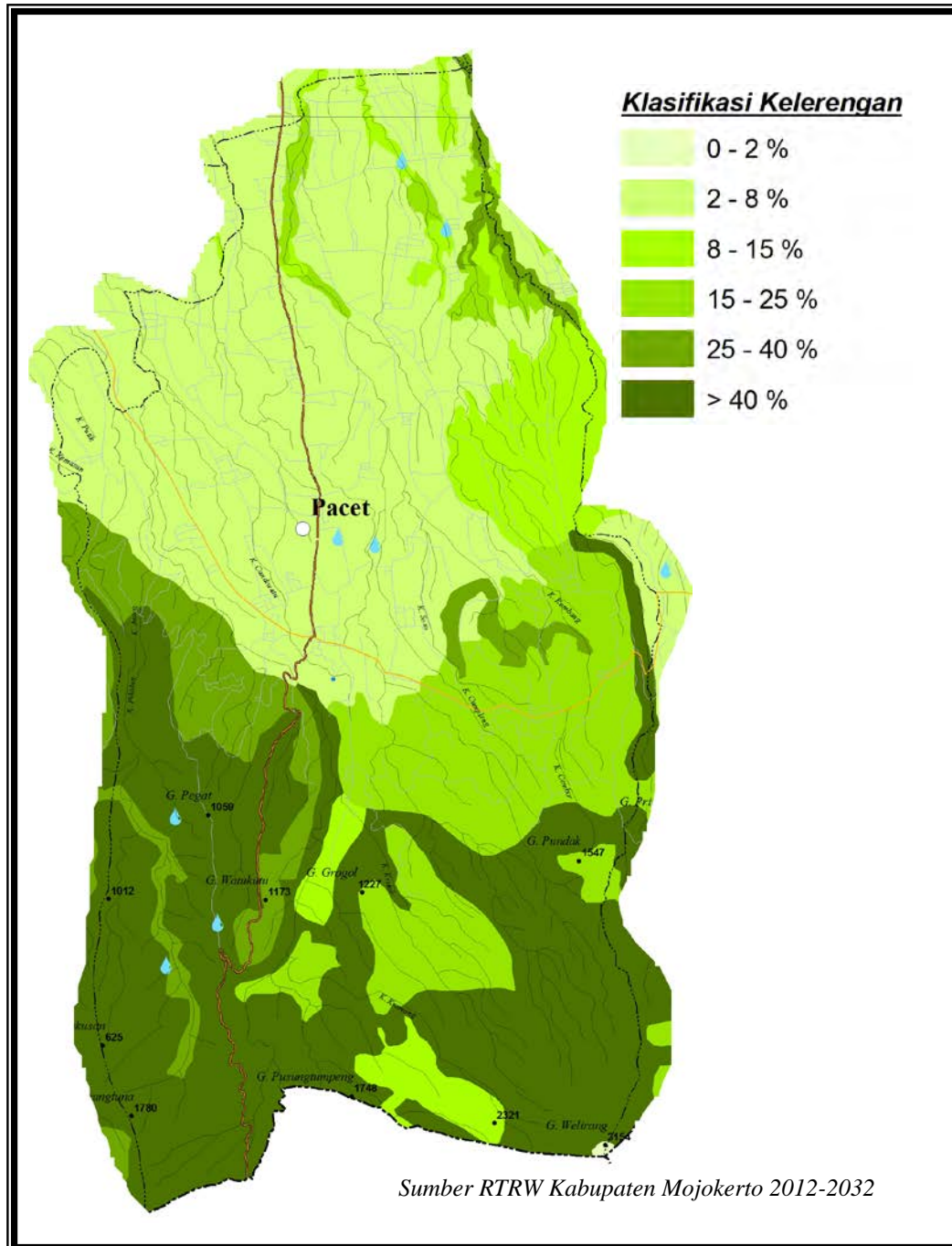
Tahun	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Curah Hujan (mm/tahun)	2.385	1.847	2.144	2.152	2.415	2.265	2.313	2.393

Tabel 4.3 Curah Hujan Kecamatan Pacet (lanjutan)

Tahun	2008	2009	2010	2011	2012
Curah Hujan (mm/tahun)	2.192	1.649	3.746	2.515	2.081

4.3. Keadaan Topografi

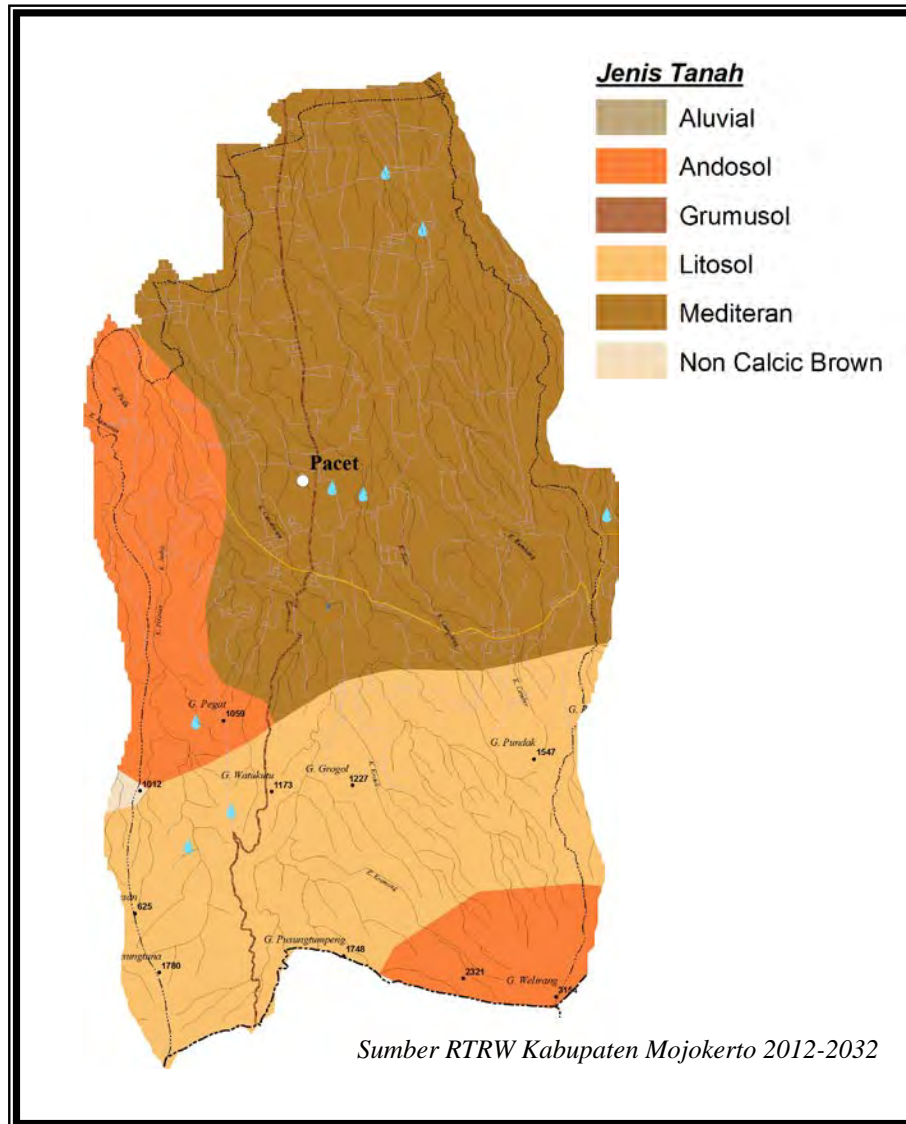
Daerah tangkapan Sumber Jubel terletak di kaki Gunung Welirang dengan kelerengannya 15-25 % dan memiliki jenis tanah mediteran. Beberapa tegakan tumbuhan yang ditemui yaitu pinus, mahoni, sengon, bamboo, dan jati.



Gambar 4.2 Peta kelerengannya Kecamatan Pacet

4.4. Kondisi Tanah

Daerah tangkapan Sumber Jubel memiliki jenis tanah mediteran. Tanah mediteran memiliki nama lain tanah alfisol, incepticol, dan livisol.

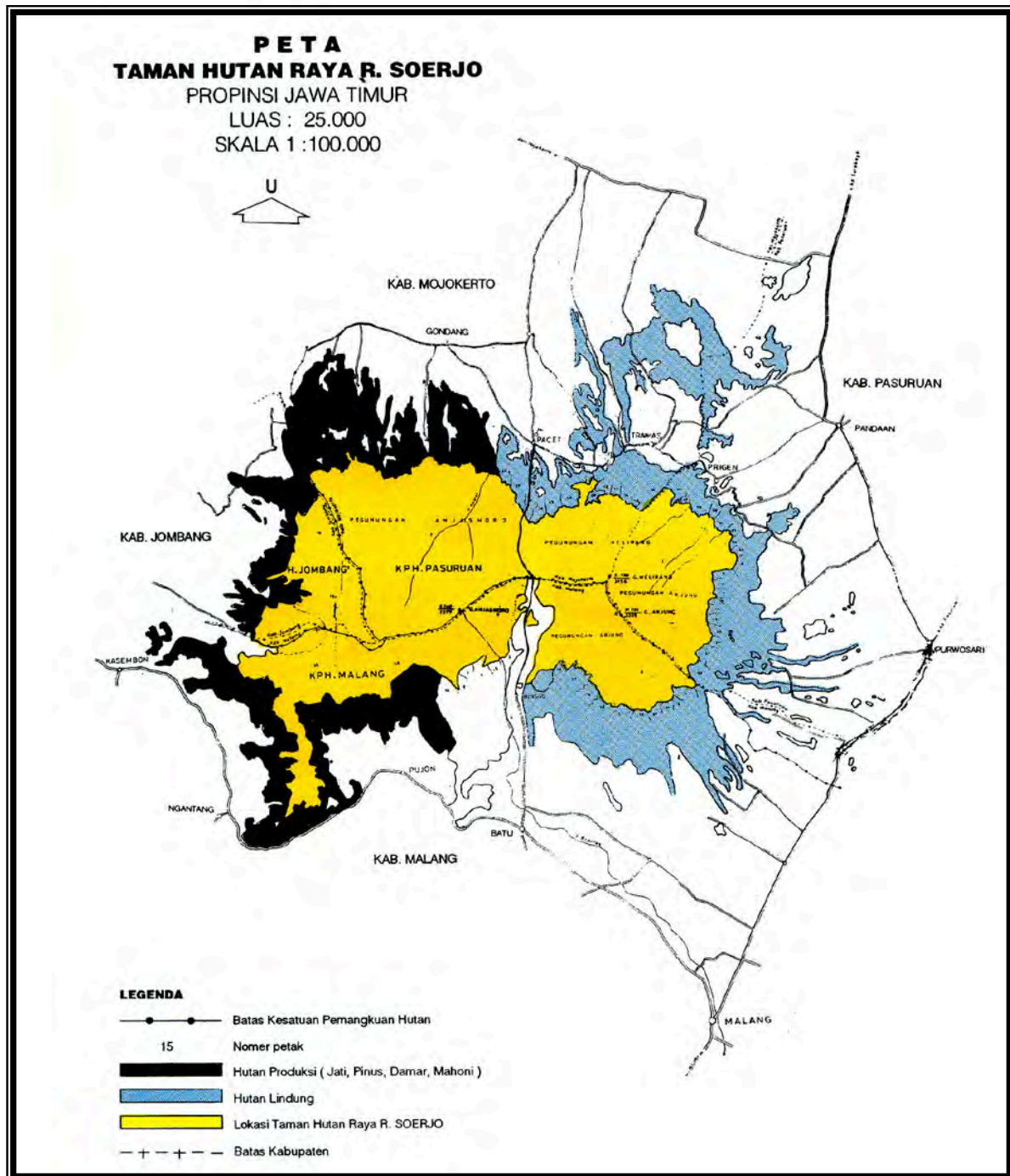


Gambar 4.3 Peta Jenis Tanah Kecamatan Pacet

Pada system klasifikasi taksonomi, tanah mediteran tergolong jenis tanah luvisol dan alfisol/inceptisol. Tanah mediteran pada umumnya bertekstur geluh keliatan (silt loam), tekstur tanah mengandung 50% atau lebih liat, dan 7 sampai 20% lempung, atau 50 s ampai 80% liat dan kurang dari 12% lempung (Suripin.2001).

4.5. Status Lahan

Lahan hutan di sekitar Sumber Jubel saai ini merupakan hutan lindung yang dikelola oleh Perhutani Resort Pemangku Hutan (RPH) Kemloko Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BKPH) Pacet, Kesatuan Pemangku Hutan (KPH) Pasuruan, Perum Perhutani Unit II Jawa Timur.



Gambar 4.4. Peta TAHURA R. Soerjo yang memperlihatkan status lahan di sekitar lokasi studi.

BAB 5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisis *Water Balance* (Neraca Air)

Water balance (keseimbangan air) adalah suatu analisa yang menggambarkan pemanfaatan sumber daya air suatu daerah tinjauan yang didasarkan pada perbandingan antara kebutuhan dan ketersediaan air. Keseimbangan air merupakan proses keluar masuk dan storage air dalam suatu ruang tinjau dalam hal ini pada daerah tangkapan air Sumber Jubel.

Faktor-faktor yang digunakan dalam perhitungan dan analisis neraca air adalah ketersediaan air dari aliran air tanah (ketersediaan air tanah) dan kebutuhan air dari tiap daerah layanan (kebutuhan air tanah sendiri untuk air bersih berupa debit output Sumber Jubel). Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung neraca air adalah sebagai berikut:

$$Q_{\text{ketersediaan}} = Q_{\text{kebutuhan}} \pm \Delta S$$

Keterangan :

$Q_{\text{ketersediaan}}$ = debit ketersediaan air tanah

$Q_{\text{kebutuhan}}$ = debit kebutuhan air tanah

ΔS = perubahan tampungan

ΔS positif (+) → surplus

ΔS negatif (-) → defisit

Untuk mengetahui jumlah air yang meresap dalam tanah ditentukan dengan perhitungan potensi air tanah dengan pendekatan empiris dengan persamaan dari Ffolliot:

$$R = (P - PE) \cdot A_i \cdot (1 - C_{ro})$$

Keterangan:

R = Volume air yang meresap ke dalam tanah (m^3)

P = Curah hujan (m/tahun)

PE = Evapotranspirasi Potensial (m/tahun)

A_i = Luasan cathment area (m^2)

C_{ro} = Koefisien limpasan permukaan

Perhitungan air yang masuk (*recharge*) ialah air hujan, infiltrasi yang luasannya berupa luasan *catchment area* Sumber Jubel, sedangkan untuk perhitungan air yang keluar didapatkan dari perhitungan evapotranspirasi serta debit air yang keluar dari mata air Sumber Jubel.

5.1.1. Data Curah Hujan dan Suhu

Data curah hujan dikumpulkan guna mengetahui besar curah hujan diperoleh dari pos penakar hujan Stasiun Pengamat Pacet No. 186 dengan data yang dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Curah Hujan Stasiun Pengamat Pacet No. 186 Tahun 2000-2012

TAHUN	B U L A N												Total (mm/tahun)
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES	
2000	658	374	347	370	25	0	100	0	0	126	213	172	2385
2001	411	440	419	209	0	0	0	0	0	120	175	73	1847
2002	572	443	304	186	69	0	0	0	0	0	75	495	2144
2003	427	561	429	77	156	44	0	0	5	17	258	178	2152
2004	392	499	711	106	119	21	40	0	0	0	191	336	2415
2005	300	263	435	359	89	111	7	29	0	104	164	404	2265
2006	551	514	324	152	259	27	0	0	0	0	24	462	2313
2007	94	615	675	311	38	31	19	0	13	44	100	453	2393
2008	341	598	516	219	81	20	0	0	0	124	133	160	2192
2009	404	415	370	104	256	100	0	0	0	0	0	0	1649
2010	642	619	491	580	230	43	25	27	78	202	179	630	3746
2011	554	359	258	370	246	39	63	-	-	-	281	345	2515
2012	481	447	303	183	45	60	3	-	-	1	154	404	2081

Sumber : BBWS Brantas, 2013

Kecamatan Pacet belum memiliki stasiun klimatologi untuk mencatat data-data terkait iklim di daerah tersebut, sehingga digunakan data suhu dari stasiun klimatologi terdekat yaitu Stasiun Klimatologi Karangploso yang terletak di Kabupaten Malang dengan data yang dapat dilihat pada tabel 5.2.

Data curah hujan dan suhu ini sangat dibutuhkan untuk menghitung besarnya evapotranspirasi yang terjadi. Metode analisis evapotranspirasi yang digunakan adalah metode thornwaite.

Tabel 5.2. Data Suhu Stasiun Klimatologi Karangploso

TAHUN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2000	23,6	23,6	23,8	23,6	23,7	22,6	21,8	22,2	23,6	23,7	23,8	23,7
2001	23,5	23,5	23,6	23,8	23,4	23,1	22,3	21,9	25,2	23,9	24,2	23,4
2002	23,6	23,9	23,7	23,9	23,8	22,7	22,2	21,5	22,7	24,7	25,0	24,4
2003	23,7	23,8	23,8	24,2	23,6	22,9	21,0	22,1	23,2	24,0	24,2	23,4
2004	23,7	23,8	23,2	24,3	23,7	22,5	22,5	21,9	23,2	24,3	24,7	23,8
2005	23,8	24,0	24,0	23,8	23,6	23,6	22,5	22,4	23,6	24,2	24,0	23,2
2006	23,9	23,5	23,6	23,8	23,5	22,1	21,8	21,5	22,3	24,2	25,4	24,8
2007	23,8	23,7	23,5	23,8	23,8	23,1	22,2	21,7	22,7	24,4	23,9	23,6
2008	23,6	23,6	23,1	23,6	23,1	22,4	21,5	22,1	23,2	24,7	24,2	23,3
2009	23,5	23,5	23,7	24,3	23,9	23,0	22,1	22,3	23,3	24,4	24,9	24,3
2010	23,8	24,0	24,3	23,9	24,5	23,7	23,2	23,4	23,8	24,1	24,4	23,8
2011	24,1	23,9	23,3	23,4	23,5	22,1	22,0	21,9	22,8	24,3	24,0	24,0
2012	23,5	23,5	23,8	23,8	23,7	22,7	21,6	21,7	23,0	24,6	24,7	23,8

Keterangan : satuan dalam °C

Sumber: BMKG Karangploso, 2013

5.1.2. Perbedaan Suhu Pada Stasiun Penakaran Hujan

Konversi suhu perlu dilakukan pada lokasi stasiun hujan penelitian terhadap stasiun klimatologi Karangploso untuk mendapat suhu yang mendekati kenyataan. Dalam pendugaan suhu pada stasiun hujan terdekat dilakukan dengan mempertimbangkan faktor ketinggian tempat. Semakin tinggi letak suatu kawasan, maka berpengaruh terhadap kelembaban suhu setempat. Untuk mengetahui suhu sesungguhnya di suatu kawasan dilakukan perhitungan menggunakan metode Mock (1973), dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta t = 0,006 (z_1 - z_2) \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dengan :

Δt = perbedaan suhu antara stasiun pengukuran dengan stasiun
pengukuran yang dianalisa ($^\circ\text{C}$)

z_1 = elevasi stasiun pengukuran suhu (m)

z_2 = elevasi stasiun hujan yang dianalisa (m)

Stasiun klimatologi Karangploso menjadi acuan dalam menentukan perbedaan suhu dengan ketinggian 575 m diatas permukaan laut (dpl). Berikut ini merupakan perhitungan perbedaan suhu (Δt) pada stasiun hujan Pacet:

Perhitungan:

- Ketinggian stasiun klimatologi Karangploso = 575 m
- Ketinggian stasiun hujan Pacet = 670 m, maka diperoleh perbedaan suhu antara stasiun klimatologi Karangploso dan Pacet adalah sebagai berikut:
 - Δt Pacet = $0,006 (575 - 670)$
= $-0,570 \text{ } ^\circ\text{C}$

Tabel 5.3. Perbedaan Suhu

NO	POS HUJAN	Z (m)	Δt ($^\circ\text{C}$)
	Karangploso	575	0,000
	Pacet	670	-0,570

Sumber: Hasil Perhitungan

5.1.3. Pendugaan Suhu Pada Stasiun Penakaran Hujan Pacet

Dari hasil perhitungan perbedaan suhu pada masing-masing stasiun hujan, maka dapat dihitung suhu yang mendekati kenyataan di lapangan dengan persamaan sebagai berikut:

Suhu Real = Suhu stasiun klimatologi + perbedaan suhu (Δt).

Tabel 5.4 Data Pendugaan Suhu Pada Stasiun Penakaran Hujan Pacet

Elevasi = 670 mdpl

Δt = -0,570 °C

TAHUN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2000	23,0	23,0	23,2	23,0	23,1	22,0	21,2	21,6	23,0	23,1	23,2	23,1
2001	22,9	22,9	23,0	23,2	22,8	22,5	21,7	21,3	24,6	23,3	23,6	22,8
2002	23,0	23,3	23,1	23,3	23,2	22,1	21,6	20,9	22,1	24,1	24,4	23,8
2003	23,1	23,2	23,2	23,6	23,0	22,3	20,4	21,5	22,6	23,4	23,6	22,8
2004	23,1	23,2	22,6	23,7	23,1	21,9	21,9	21,3	22,6	23,7	24,1	23,2
2005	23,2	23,4	23,4	23,2	23,0	23,0	21,9	21,8	23,0	23,6	23,4	22,6
2006	23,3	22,9	23,0	23,2	22,9	21,5	21,2	20,9	21,7	23,6	24,8	24,2
2007	23,2	23,1	22,9	23,2	23,2	22,5	21,6	21,1	22,1	23,8	23,3	23,0
2008	23,0	23,0	22,5	23,0	22,5	21,8	20,9	21,5	22,6	24,1	23,6	22,7
2009	22,9	22,9	23,1	23,7	23,3	22,4	21,5	21,7	22,7	23,8	24,3	23,7
2010	23,2	23,4	23,8	23,3	24,0	23,2	22,6	22,8	23,2	23,5	23,8	23,2
2011	23,5	23,3	22,8	22,8	23,0	21,6	21,4	21,3	22,3	23,7	23,5	23,4
2012	23,0	23,0	23,2	23,2	23,1	22,1	21,1	21,1	22,4	24,0	24,1	23,3

Sumber: Hasil Perhitungan

5.1.4 Evapotranspirasi Potensial (PE)

Evapotranspirasi potensial adalah nilai yang menggambarkan kebutuhan lingkungan, varian vegetasi, atau kawasan pertanian untuk melakukan evapotranspirasi. Dalam penelitian ini digunakan metode Thornthwaite dimana nilai evapotranspirasi potensial (PE) dipengaruhi oleh temperatur udara, intensitas penyinaran matahari dan letak koordinat. Metode ini mengusulkan perhitungan evapotranspirasi potensial dari data suhu udara rata-rata bulanan, standar bulan 30 hari dan jam peninarannya 12 jam. Adapun persamaan adalah sebagai berikut:

$$PE_x = 16 \times \left(\frac{10 T_m}{I} \right)^a$$

$$PE = f \times PE_x$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1,514}$$

$$a = (6,75 \cdot 10^{-7}) \cdot I^3 - (7,71 \cdot 10^{-5}) \cdot I^2 + (1,792 \cdot 10^{-2}) \cdot I + 0,49239$$

Dengan :

T_m = suhu udara rata-rata bulanan ($^{\circ}\text{C}$)

f = Koefisien penyesuaian hubungan antara jumlah jam dan hari terang berdasarkan lokasi

I = indeks panas tahunan

PE_x = Evapotranspirasi potensial yang belum disesuaikan faktor f (mm/bulan)

PE = Evapotranspirasi potensial (mm/bulan)

5.1.5. Indeks Panas Tahunan (I)

Nilai indeks panas tahunan (I) stasiun hujan dapat diketahui dengan menentukan terlebih dahulu indeks panas bulanan yang kemudian dijumlahkan dalam setahun. Berikut ini merupakan perhitungan nilai I stasiun hujan Pacet. berikut:

$$I = \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1,514}$$

Misalkan dilakukan perhitungan pada tahun 2000, maka diperoleh nilai indeks bulanan (i) sebagai berikut:

- Januari tahun 2000

$$I = \left(\frac{23}{5} \right)^{1,514}$$

$$I = 10,1$$

Untuk memperoleh nilai indeks panas tahunan (I) dilakukan komulatif nilai indeks bulanan per tahunnya. Berikut ini merupakan penjelasan lebih lanjut mengenai nilai indeks panas bulanan pada Stasiun Hujan Pacet seperti terlihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Nilai indeks panas bulanan pada Stasiun Hujan Pacet

TAHUN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN
2000	10,1	10,1	10,2	10,1	10,2	9,4

lanjutan

TAHUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	I
2000	8,9	9,2	10,1	10,2	10,2	10,2	118,7

Sumber: Hasil Perhitungan

Langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai a sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 a &= (6,75 \cdot 10^{-7}) \cdot I^3 - (7,71 \cdot 10^{-5}) \cdot I^2 + (1,792 \cdot 10^{-2}) \cdot I + 0,49239 \\
 &= (6,75 \cdot 10^{-7}) \cdot 118,7^3 - (7,71 \cdot 10^{-5}) \cdot 118,7^2 + (1,792 \cdot 10^{-2}) \cdot 118,7 + 0,49239 \\
 &= 2,7
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan hasil selengkapnya analisa indeks panas tahunan (I) dan nilai a setiap tahunnya

Tabel 5.6 Nilai Indeks Panas Tahunan (I) dan Nilai a Stasiun Hujan Pacet

TAHUN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	I	a
2000	10,1	10,1	10,2	10,1	10,2	9,4	8,9	9,2	10,1	10,2	10,2	10,2	118,7	2,7
2001	10,0	10,0	10,1	10,2	10,0	9,8	9,2	9,0	11,2	10,3	10,5	10,0	120,1	2,7
2002	10,1	10,3	10,2	10,3	10,2	9,5	9,2	8,7	9,5	10,8	11,0	10,6	120,3	2,7
2003	10,2	10,2	10,2	10,5	10,1	9,6	8,4	9,1	9,8	10,4	10,5	10,0	118,9	2,7

2004	10,2	10,2	9,8	10,6	10,2	9,4	9,4	9,0	9,8	10,6	10,8	10,2	120,0	2,7
2005	10,2	10,4	10,4	10,2	10,1	10,1	9,4	9,3	10,1	10,5	10,4	9,8	120,7	2,7
2006	10,3	10,0	10,1	10,2	10,0	9,1	8,9	8,7	9,2	10,5	11,3	10,9	119,2	2,7
2007	10,2	10,2	10,0	10,2	10,2	9,8	9,2	8,9	9,5	10,6	10,3	10,1	119,0	2,7
2008	10,1	10,1	9,8	10,1	9,8	9,3	8,7	9,1	9,8	10,8	10,5	9,9	117,9	2,6
2009	10,0	10,0	10,2	10,6	10,3	9,7	9,1	9,2	9,9	10,6	11,0	10,6	121,0	2,7
2010	10,2	10,3	10,6	10,2	10,7	10,2	9,8	10,0	10,2	10,4	10,6	10,2	123,2	2,8
2011	10,4	10,3	9,9	10,0	10,0	9,1	9,0	9,0	9,6	10,6	10,4	10,4	118,4	2,7
2012	10,0	10,0	10,2	10,2	10,1	9,5	8,8	8,9	9,7	10,8	10,8	10,2	119,0	2,7

Sumber: Hasil Perhitungan

5.1.6. Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur Dan Bulan (PE_x)

Sebelum mendapatkan nilai Evapotranspirasi Potensial (PE) yang sesuai kondisi sesungguhnya di suatu kawasan tertentu, maka nilai PE harus di konversikan terlebih dahulu terhadap nilai suhu udara rata-rata bulanan (T_m), indeks panas tahunan (I) dan juga nilai a . Untuk memperoleh PE_x tersebut dapat menggunakan persamaan sebagai berikut ini:

$$PE_x = 16 \times \left(\frac{10 T_m}{I} \right)^a$$

Perhitungan PE yang belum disesuaikan garis bujur dan bulan (PE_x) stasiun hujan dapat dianalisis sebagai berikut:

Dengan berpedoman pada pendugaan suhu (Tabel 5.4), nilai indeks panas tahunan (Tabel 5.5) dan nilai a stasiun hujan Pacet, maka perhitungan nilai PE_x dapat diperoleh sebagai berikut:

Januari 2000

$$PE_x = 16 \times \left(\frac{10 \times 23}{118,7} \right)^{2,7}$$

$$PE_x = 93,4 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan tersebut diketahui bahwa nilai evapotranspirasi potensial sebelum disesuaikan garis bujur dan bulan (PE_x) pada bulan Januari tahun 2000 adalah sebesar 93,4 mm. Nilai PE_x tersebut belum merupakan nilai evapotranspirasi potensial sesungguhnya di suatu kawasan. Nilai ini nantinya akan dikonversikan dengan koefisien penyesuaian menurut bujur dan bulan, sehingga

akan diperoleh nilai evapotranspirasi potensial yang mendekati sesungguhnya pada suatu kawasan.

Untuk perhitungan selanjutnya nilai PE_x pada stasiun hujan Pacet dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur (f) Stasiun Hujan Pacet (mm)

TAHUN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2000	93,4	93,4	95,6	93,4	94,5	83,0	75,2	79,0	93,4	94,5	95,6	94,5
2001	91,8	91,8	92,9	95,1	90,8	87,6	79,4	75,5	111,4	96,2	99,6	90,8
2002	92,8	96,1	93,9	96,1	95,0	83,3	78,3	71,6	83,3	105,3	108,9	101,8
2003	94,4	95,5	95,5	100,0	93,4	86,0	67,8	78,0	89,1	97,7	100,0	91,2
2004	94,0	95,2	88,7	100,8	94,0	81,5	81,5	75,6	88,7	100,8	105,4	95,2
2005	94,9	97,1	97,1	94,9	92,7	92,7	81,2	80,2	92,7	99,4	97,1	88,4
2006	96,5	92,1	93,2	95,4	92,1	77,8	75,0	72,2	79,8	99,9	114,0	106,8
2007	95,5	94,4	92,2	95,5	95,5	88,0	78,9	74,1	83,9	102,2	96,6	93,3
2008	93,7	93,7	88,4	93,7	88,4	81,4	72,8	78,5	89,5	106,0	100,3	90,5
2009	91,5	91,5	93,7	100,5	95,9	86,1	77,0	79,0	89,3	101,6	107,5	100,5
2010	94,1	95,7	100,1	94,7	102,7	93,4	87,2	89,2	93,5	96,9	101,1	94,1
2011	98,8	96,9	90,7	91,5	92,8	78,6	77,0	76,2	85,4	101,1	98,4	97,6
2012	92,5	92,5	95,1	95,4	94,0	83,9	73,6	73,9	87,1	104,5	105,9	95,8

Sumber: Hasil Perhitungan

5.1.7. Koefisien Penyesuaian Bujur dan Bulan Setiap Stasiun

Koordinat Stasiun Penakar Hujan Pacet adalah:

Tabel 5.8 Koordinat Stasiun Hujan

POS HUJAN	Garis Bujur (X)	Garis Lintang (Y)	Elevasi
Pacet	112,5400667	-7,662866667	670 mdpl

Sumber : BBWS Brantas, 2013

Untuk menentukan koefisien penyesuaian bujur dan bulan setiap stasiun penakar hujan, maka diperlukan tabel koefisien penyesuaian.

Tabel 5.9 Koefisien Penyesuaian Menurut Bujur dan Bulan

Bujur / Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sept	Okt	Nov	Des
50	0,74	0,78	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,25	1,06	0,92	0,76	0,7
49	0,75	0,79	1,02	1,14	1,32	1,34	1,35	1,24	1,05	0,93	0,76	0,71
48	0,76	0,8	1,02	1,14	1,31	1,33	1,34	1,23	1,05	0,93	0,77	0,72
47	0,77	0,8	1,02	1,14	1,3	1,32	1,33	1,22	1,04	0,93	0,78	0,73
46	0,79	0,81	1,02	1,13	1,29	1,31	1,32	1,22	1,04	0,94	0,79	0,74
45	0,8	0,81	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04	0,94	0,79	0,75
44	0,81	0,82	1,02	1,13	1,27	1,29	1,3	1,2	1,04	0,95	0,8	0,76
43	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,2	1,04	0,95	0,81	0,77
42	0,82	0,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	0,95	0,82	0,79
41	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,8
40	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
39	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	0,84	0,82
38	0,85	0,84	1,03	1,1	1,23	1,23	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83
37	0,86	0,84	1,03	1,1	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
36	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84
35	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
34	0,88	0,85	1,03	1,09	1,2	1,2	1,22	1,16	1,03	0,97	0,87	0,86
33	0,88	0,86	1,03	1,09	1,19	1,2	1,22	1,15	1,03	0,97	0,88	0,86
32	0,89	0,86	1,03	1,08	1,19	1,19	1,21	1,15	1,03	0,98	0,88	0,87
31	0,9	0,87	1,03	1,08	1,18	1,18	1,2	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
30	0,9	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,2	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
29	0,91	0,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	0,98	0,9	0,89
28	0,91	0,88	1,03	1,07	1,16	1,16	1,18	1,13	1,02	0,98	0,9	0,9

Bujur / Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sept	Okt	Nov	Des
27	0,92	0,88	1,03	1,07	1,16	1,15	1,18	1,13	1,02	0,99	0,9	0,9
26	0,92	0,88	1,03	1,06	1,15	1,15	1,17	1,12	1,02	0,99	0,91	0,91
25	0,93	0,89	1,03	1,06	1,15	1,14	1,17	1,12	1,02	0,99	0,91	0,91
20	0,95	0,9	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1	0,93	0,94
15	0,97	0,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	0,95	0,97
10	1	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,01	1,02	0,98	0,99
5	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02
0	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1	1,04	1,01	1,04
-5	1,06	0,95	1,04	1	1,02	0,99	1,02	1,03	1	1,05	1,03	1,06
-10	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1	1,01	1	1,06	1,05	1,1
-15	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1	1	1,07	1,07	1,12
-20	1,14	1	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1	1,08	1,09	1,15
-25	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1	1,1	1,11	1,18
-30	1,2	1,03	1,06	0,95	0,92	0,85	0,9	0,96	1	1,12	1,14	1,21
-35	1,23	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1	1,13	1,17	1,25
-40	1,27	1,06	1,07	0,93	0,86	0,78	0,84	0,92	1	1,15	1,2	1,29
-42	1,28	1,07	1,07	0,92	0,85	0,76	0,82	0,92	1	1,16	1,22	1,31
-44	1,3	1,08	1,07	0,92	0,83	0,74	0,81	0,91	0,99	1,17	1,23	1,33
-46	1,32	1,1	1,07	0,91	0,82	0,72	0,79	0,9	0,99	1,17	1,25	1,35
-48	1,34	1,11	1,08	0,9	0,8	0,7	0,76	0,89	0,99	1,18	1,27	1,37
-50	1,37	1,12	1,08	0,89	0,77	0,67	0,74	0,88	0,99	1,19	1,29	1,41

Sumber: Sosrodarsono dan Takeda, 2003

Perhitungan:

- Koefisien penyesuaian pada stasiun hujan pada bulan Januari

Stasiun Pacet terletak pada garis lintang -7,662866667 (Tabel 5.8), maka dengan melihat Tabel 5.9 garis lintang terletak antara -5 dan -10. Dengan melakukan interpolasi diperoleh nilai 1,07065. Perhitungan selengkapnya koefisien penyesuaian menurut garis lintang pada stasiun hujan dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Perhitungan Koefisien Penyesuaian Menurut Garis Lintang/ Bujur

POS HUJAN	Y	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
Pacet	-7,662866667	1,07065	0,96065	1,04533	0,99467	1,01467	0,97402

lanjutan

POS HUJAN	Y	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
Pacet	-7,662866667	1,00935	1,01935	1	1,05533	1,04065	1,0813

Sumber: Hasil Perhitungan

5.1.8. Evapotranspirasi Potensial (PE) Wilayah

Untuk memperhitungkan nilai evapotranspirasi potensial (PE) wilayah, maka perlu dikonversi nilai evapotranspirasi potensial yang ada dengan koefisien penyesuaian menurut garis lintang/ bujur. Untuk mengkonversi nilai evapotranspirasi potensial dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$PE = f \cdot PE_x$$

Stasiun Hujan Pacet

Koefisien penyesuaian pada stasiun hujan pada bulan Januari

Dengan mengacu pada Tabel 5.7 diketahui nilai PE_x adalah 93,4 mm, sedangkan nilai f (Tabel 5.10) diperoleh koefisien sebesar 1,07065 Dengan demikian dapat dihitung:

$$\begin{aligned} PE &= 1,07065 \times 93,4 \text{ mm} \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil konversi selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut

Tabel 5.11. Evapotranspirasi Potensial (PE) Stasiun Hujan Pacet (mm)

TAHUN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	TOTAL
2000	100,0	89,7	99,9	92,9	95,9	80,8	75,9	80,6	93,4	99,7	99,5	102,2	1110,6
2001	98,3	88,2	97,1	94,6	92,1	85,3	80,2	77,0	111,4	101,5	103,7	98,1	1127,5
2002	99,4	92,4	98,2	95,6	96,4	81,2	79,1	73,0	83,3	111,2	113,3	110,1	1133,1
2003	101,1	91,8	99,9	99,4	94,7	83,7	68,5	79,5	89,1	103,1	104,0	98,6	1113,5

TAHUN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	TOTAL
2004	100,7	91,4	92,7	100,2	95,4	79,3	82,2	77,0	88,7	106,4	109,7	102,9	1126,7
2005	101,6	93,3	101,6	94,4	94,1	90,3	81,9	81,7	92,7	104,9	101,1	95,6	1133,2
2006	103,3	88,5	97,4	94,9	93,5	75,8	75,7	73,6	79,8	105,4	118,7	115,5	1122,1
2007	102,2	90,7	96,4	95,0	96,9	85,7	79,6	75,6	83,9	107,9	100,5	100,9	1115,1
2008	100,3	90,0	92,4	93,2	89,7	79,3	73,5	80,0	89,5	111,8	104,4	97,9	1102,0
2009	98,0	87,9	97,9	99,9	97,3	83,9	77,8	80,5	89,3	107,2	111,9	108,6	1140,3
2010	100,7	92,0	104,6	94,2	104,2	91,0	88,0	91,0	93,5	102,2	105,2	101,8	1168,4
2011	105,8	93,0	94,8	91,0	94,2	76,5	77,7	77,7	85,4	106,7	102,4	105,5	1110,8
2012	99,0	88,9	99,4	94,9	95,3	81,7	74,3	75,3	87,1	110,3	110,2	103,6	1120,0

Sumber: Hasil Perhitungan

5.2. Tataguna Lahan Daerah Tangkapan Air Sumber Jubel

Tataguna lahan daerah tangkapan Sumber Jubel terdiri dari hutan tanaman, pertanian lahan kering, dan belukar. Penggunaan lahan ini perlu diketahui untuk menentukan besarnya koefisien *run off* (Cro) wilayah yang digunakan dalam perhitungan debit air yang meresap ke dalam tanah. Untuk menentukan besarnya Cro wilayah dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$Cro = \frac{A_1.C_1 + A_2.C_2 + + A_n.C_n}{A_1 + A_2 + + A_n}$$

Dengan:

C_{ro} = koefisien aliran permukaan DAS

C_i = koefisien aliran permukaan jenis penutup lahan i,

A_i = luas penutup lahan dengan jenis penutup lahan i,

n = jumlah jenis penutup lahan

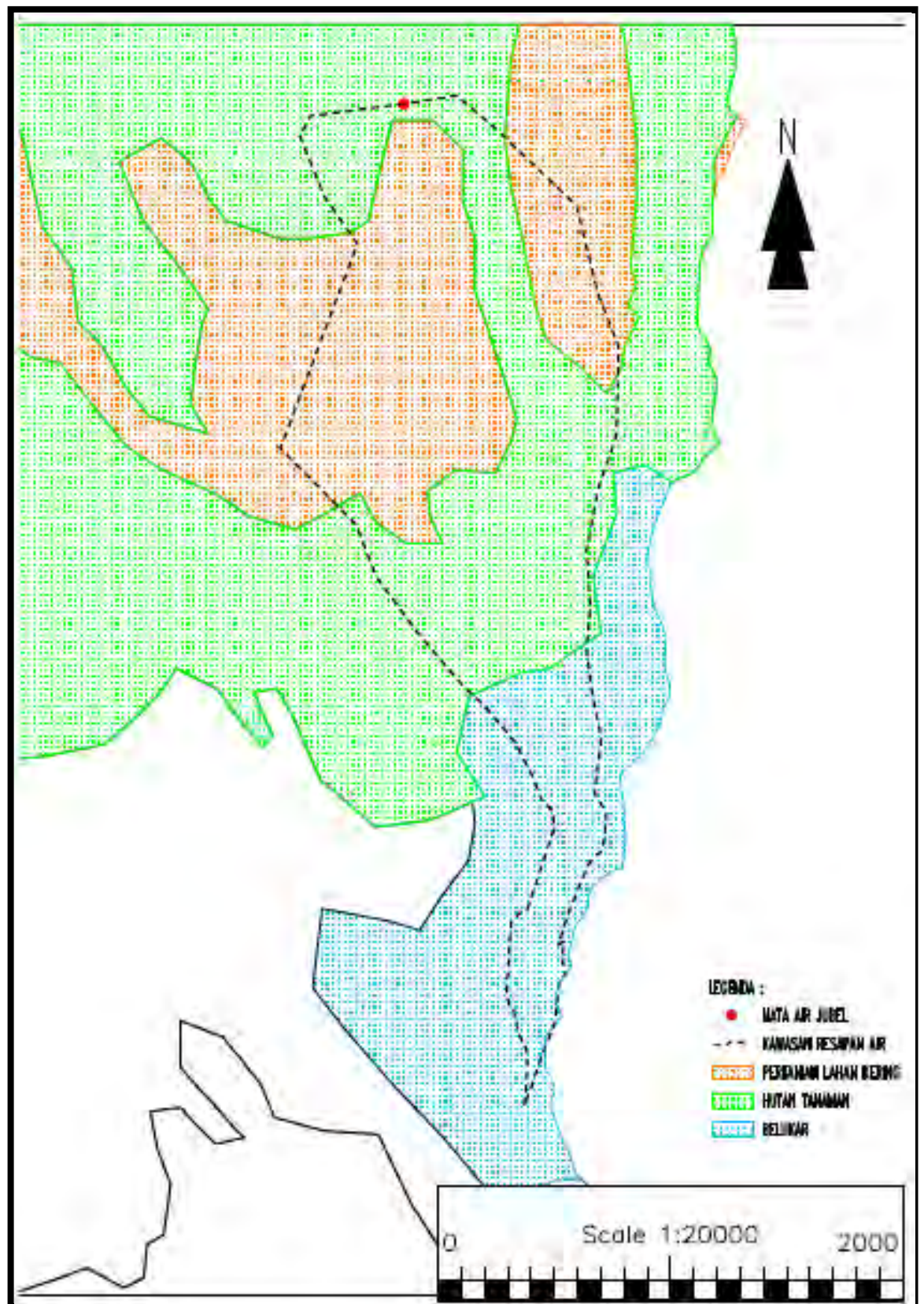
Tabel 5.12 Perhitungan Koefisien Aliran Permukaan Wilayah Sumber Jubel

Tata Guna Lahan	A (km ²)	C ¹⁾	C*A
pertanian lahan kering	1,31	0,5	0,65
hutan tanaman	1,29	0,01	0,0129
belukar	0,44	0,3	0,132

Sumber: Mukhoriyah, 2012

$$\begin{aligned} \text{Cro} &= \frac{0,65 + 0,0129 + 0,132}{1,31 + 1,29 + 0,44} \\ &= 0,26 \end{aligned}$$

Gambaran penggunaan lahan pada *catchment area* Sumber Jubel dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Penggunaan lahan daerah tangkapan air Sumber Jubel

5.3. Perhitungan Debit Air yang meresap ke dalam Tanah

Menurut metode Ffolliot besarnya debit air yang meresap ke dalam tanah pada suatu wilayah dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$R = (P - PE) \cdot A_i \cdot (1 - C_{ro})$$

Keterangan:

R = Volume air yang meresap ke dalam tanah (m^3)

P = Curah hujan (mm/tahun)

PE = Evapotranspirasi Potensial (mm/tahun)

A_i = Luasan *catchment area* (km^2)

C_{ro} = Koefisien limpasan permukaan

Misalkan untuk perhitungan Tahun 2000 besarnya air yang meresap ke kedalam tanah adalah:

$$R = ((2.385/1.000) - (1.110,6/1000)) \times (3,04 \times 1.000.000) \times (1 - 0,26)$$

$$= 2.866.923 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Untuk perhitungan R selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.13

Tabel 5.13 Perhitungan besarnya debit air yang meresap ke dalam tanah pada catchment Sumber Jubel

TAHUN	P	PE	A	Cro	R
	mm/tahun	mm/tahun	km ²		m ³ /tahun
2000	2.385	1.110,59	3,04	0,26	2.866.923
2001	1.847	1.127,53	3,04	0,26	1.618.517
2002	2.144	1.133,15	3,04	0,26	2.274.019
2003	2.152	1.113,51	3,04	0,26	2.336.177
2004	2.415	1.126,67	3,04	0,26	2.898.223
2005	2.265	1.133,20	3,04	0,26	2.546.088
2006	2.313	1.122,09	3,04	0,26	2.679.061
2007	2.393	1.115,09	3,04	0,26	2.874.787
2008	2.192	1.101,99	3,04	0,26	2.452.085
2009	1.649	1.140,32	3,04	0,26	1.144.328
2010	3.746	1.168,39	3,04	0,26	5.798.597

2011	2.515	1.110,82	3,04	0,26	3.158.834
2012	2.081	1.120,00	3,04	0,26	2.161.859

Sumber: Hasil perhitungan

5.4. Perhitungan Debit Air yang keluar dari Sumber Jubel

Merupakan debit pemanfaatan Sumber Jubel untuk pemenuhan air bersih oleh PDAM Djoebel Tirta kabupaten Mojokerto dengan operasional selama 24 jam. Dengan demikian besarnya debit yang keluar per tahunnya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{output}} &= 18,4 \text{ liter/detik} \\
 &= 18,4 \times 3600 \times 24 \times 365 / 1000 = 580.262 \text{ m}^3/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

5.5. Perhitungan Neraca Air

Analisa neraca air didasarkan pada jumlah debit air yang masuk (inflow) dengan jumlah kebutuhan air yang diperlukan (outflow). Selisih antara debit inflow dengan outflow menggambarkan kondisi ketersediaan air pada daerah tangkapan Sumber Jubel. Jika selisih antara keduanya bernilai positif, maka kondisi ketersediaan air surplus, dan sebaliknya jika selisih antara keduanya bernilai negatif menunjukkan bahwa ketersediaan air mengalami defisit. Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung neraca air adalah sebagai berikut:

$$Q_{\text{ketersediaan}} = Q_{\text{kebutuhan}} \pm \Delta S$$

Keterangan :

$Q_{\text{ketersediaan}}$ = debit ketersediaan air tanah

$Q_{\text{kebutuhan}}$ = debit kebutuhan air tanah

ΔS = perubahan tampungan

Contoh perhitungan untuk tahun 2000 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \pm \Delta S &= R - Q_{\text{output}} \\
 &= 2.866.923 - 580.262 \\
 &= 2.286.661 \text{ (positif)} \rightarrow \text{surplus}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan tampungan air tanah selengkapnya dapat dilihat pada tabel 5.14

Tabel 5.14 Neraca Air pada Catchment Area Sumber Jubel

TAHUN	P	PE	A	Cro	R	Q air baku (jubel)	ΔS	Keterangan
	mm/th	mm/tahun	km ²		m ³ /tahun	m ³ /tahun	m ³ /tahun	
2000	2385	1110,59	3,04	0,26	2.866.923	580.262	2.286.661	Surplus
2001	1847	1127,53	3,04	0,26	1.618.517	580.262	1.038.254	Surplus
2002	2144	1133,15	3,04	0,26	2.274.019	580.262	1.693.757	Surplus
2003	2152	1113,51	3,04	0,26	2.336.177	580.262	1.755.915	Surplus
2004	2415	1126,67	3,04	0,26	2.898.223	580.262	2.317.961	Surplus
2005	2265	1133,20	3,04	0,26	2.546.088	580.262	1.965.826	Surplus
2006	2313	1122,09	3,04	0,26	2.679.061	580.262	2.098.799	Surplus
2007	2393	1115,09	3,04	0,26	2.874.787	580.262	2.294.525	Surplus
2008	2192	1101,99	3,04	0,26	2.452.085	580.262	1.871.823	Surplus
2009	1649	1140,32	3,04	0,26	1.144.328	580.262	564.066	Surplus
2010	3746	1168,39	3,04	0,26	5.798.597	580.262	5.218.335	Surplus
2011	2515	1110,82	3,04	0,26	3.158.834	580.262	2.578.571	Surplus
2012	2081	1120,00	3,04	0,26	2.161.859	580.262	1.581.597	Surplus

Sumber: Hasil perhitungan

Dari tabel 5.14 dapat diketahui bahwa kondisi neraca air di catchment area Sumber Jubel pada tahun 2000-2012 bernilai surplus. Diperkirakan permasalahan tidak pada *catchment area* tersebut, untuk itu diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap penyebab turunnya debit. Namun tetap perlu dilakukan konservasi sebagai bentuk pelestarian mata air.

5.6. Analisis Konservasi Sumber Air

5.6.1. Metode Vegetatif

Sumber Jubel terletak di Kecamatan Pacet yang merupakan bagian dari DAS Brantas dengan potensi berbagai jenis tanaman. Beberapa jenis tanaman konservasi yang sesuai dengan kondisi lahan resapan air Sumber Jubel antara lain pinus, gmelina (jati putih), sengon, dan bambu. Syarat tumbuh untuk tanaman-tanaman tersebut disajikan pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Syarat tumbuh jenis-jenis tanaman

No	Jenis Tanaman	Iklim	Ketinggian tempat	Jenis Tanah
1	Bambu	Curah hujan > 1000 mm/tahun	0 – 1500 m dpl	Berbagai jenis tanah
2	Jati Putih (<i>Gmelina arborea</i>)	Curah hujan 750-4500 mm/tahun	90-900 m dpl	Berbagai jenis tanah
3	Mahoni	Daerah tropis basah	0-1000 m dpl	Berbagai jenis tanah
4	Pinus	Curah hujan 1500-4000 mm/tahun	200-2000 m dpl	Berbagai jenis tanah dengan lapisan tanah yang tebal
5	Sengon	Curah hujan > 1500 mm/tahun	50-1500 m dpl	Berbagai jenis tanah

Sumber : BPDAS Brantas, 2012

5.6.1.1. Prioritas Tanaman Konservasi

Dalam Kajian Kesesuaian Jenis dan Lahan Hutan Kota Balai Penelitian Teknologi Agroforestry Bogor disebutkan untuk tujuan perlindungan sumber air, terhadap pohon yang dikembangkan perlu dipertimbangkan kemampuan penguapan airnya (evapotranspirasi). Semakin besar evapotranspirasinya, semakin cepat pula dalam menguras cadangan air tanah.

Tipologi tanaman memiliki pengaruh dalam menahan laju butiran air hujan dan mengurangi tenaga kinetik butiran air dan pelepasan partikel tanah sehingga pukulan butiran air dapat dikurangi dan mereduksi kehilangan tanah atau erosi (Widjajani, 2010). Selama peristiwa hujan, sebagian air hujan akan ditahan oleh tanaman sebelum mencapai permukaan bumi. Dengan pemilihan tanaman yang tepat diharapkan dapat mengurangi laju erosi yang terjadi. Semakin kecil laju erosi yang dihasilkan, semakin baik tanaman tersebut untuk dikembangkan. Dalam Tabel 5.16 dipaparkan besarnya evapotranspirasi dan laju erosi yang terjadi pada jenis pohon konservasi di lokasi resapan air Sumber Air Jubel.

Tabel 5.16 Urutan Prioritas Pengembangan Tanaman Konservasi

Jenis Tanaman	Evapotranspirasi		Laju Erosi		Total Nilai	Ranking
	mm/tahun	Nilai	ton/ha/tahun	Nilai		
Bambu	3000 ^{f)}	1	0,02 ^{b)}	5	6	3
Jati Putih	1300 ^{f)}	5	5,9 ^{g)}	2	7	2
Mahoni	2317,23 ^{a)}	2	4,96 ^{e)}	3	5	4
Pinus	1971,12 ^{d)}	3	24,45 ^{c)}	1	4	5
Sengon	1872,45 ^{e)}	4	0,034 ^{e)}	4	8	1

Sumber :

- a) Pujihearta, 1995
- b) Lubis, 2003
- c) Kusmana et al, 2004
- d) Indrajaya dkk, 2008
- e) Sukresno dkk, 2009
- f) Pasaribu, 2012
- g) Pratiwi, 2013

Dari Tabel 5.17 didapatkan prioritas pertama dan kedua pengembangan tanaman konservasi Sumber Jubel adalah Sengon dan Jati Putih. Dari kedua tanaman ini kemudian dibandingkan kemampuannya dalam menambah kapasitas simpanan air tanah.

Tabel 5.17 Kapasitas Simpanan Air Tanah Tanaman

No.	Jenis Tanaman	Tampungan (liter/ha/tahun)
1.	Sengon	3,66 juta
2.	Jati Putih	2,60 juta

Sumber : Pujihearta, 1997 dalam Dahlan, 2004

Dari Tabel 5.17 menurut Pujihearta, (1997) dalam Dahlan (2004) dengan curah hujan 3.489 mm/tahun sengon mampu menyimpan air tanah 3,66 juta liter/hektar . Sehingga sengon menjadi prioritas utama untuk menjadi tanaman konservasi di kawasan resapan Sumber Jubel karena dapat menambah cadangan air tanah lebih banyak daripada jati putih.

5.6.1.2 Penanaman Sengon

Dari Tabel 5.12 diketahui bahwa penggunaan lahan di kawasan resapan Sumber Jubel belum dapat mendukung terjadinya infiltrasi optimal karena sebagian besar wilayahnya yang berupa pertanian lahan kering dan semak belukar memiliki koefisien aliran permukaan yang besar yakni 0,5 dan 0,3. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya konservasi pada penggunaan jenis lahan tersebut. Untuk lahan pertanian digunakan metode non vegetatif, sedangkan pada belukar perlu ditanami vegetasi berupa sengon.

Tabel 5.18 Alih Fungsi Lahan Menjadi Hutan Tanaman Sengon

Semula	Menjadi	Luas ha
Tata Guna Lahan	Tata Guna Lahan	
Belukar	Hutan Sengon	44

Dari Tabel 5.18 dapat diketahui bahwa untuk mengalihkan tata guna lahan menjadi hutan, dibutuhkan area 44 ha lahan penanaman sengon.

Analisa biaya meliputi pengadaan bibit dan penanaman sengon. Bibit yang baik memiliki standar sebagai berikut :

- Umur $\pm 2,5 - 3$ bulan
- Tinggi 30 – 35cm
- Batang tegak dan kekar
- Warna daun hijau gelap
- Jumlah daun minimal 8 tangkai

Selain bibit yang baik, hal lain yang perlu diperhatikan adalah jarak tanam. Jarak tanam yang diberikan 4m x 2,5 m dengan populasi per hektar 1.000 pohon (Putri, 2009). Sehingga biaya yang diperlukan untuk per hektar pohon sengon yang meliputi pengadaan bibit dan penanaman secara garis besar adalah sebagai berikut:

Tabel 5.19 Analisa biaya penanaman sengon (per hektar)

No	Kegiatan	Volume	Biaya	
			Satuan	Jumlah
I.	Pengadaan Bibit	1.000 buah	2.000	2.000.000
II.	Penanaman			
	Pembersihan lahan	1 ha	1.000.000	1.000.000
	Pembuatan lubang	1000 buah	2.000	2.000.000
	Ongkos tanam	1000 buah	2.000	2.000.000
	Pemupukan	1 ha	1.000.000	1.000.000
	Peralatan	1 set	500.000	500.000
	Total			8.500.000

Sumber : Permana, 2013

Pengadaan bibit dengan kebutuhan 1.000 buah bibit per hektarnya dan estimasi harga Rp 2.000,- untuk tiap bibit. Sedangkan kegiatan penanaman terdiri dari:

- Pembersihan lahan yang diestimasi memerlukan 20 orang pekerja dengan upah Rp 50.000,- /OH.
- Pembuatan lubang dan ongkos tanam dengan upah masing-masing Rp 2.000,-
- Pemupukan dengan pupuk kandang, kebutuhan 2 ton/ha seharga Rp 10.000,-/30 kg dan upah 10 orang pekerja sebesar Rp 30.000,-/OH.
- Peralatan seperti cangkul, sabit, golok estimasi biaya 20 x Rp 25.000,-.

Sehingga untuk menanam 44 ha hutan sengon diperlukan anggaran sebesar 44 x Rp 8.500.000,- = Rp 374.000.000,-

5.6.2. Metode Non Vegetatif

5.6.2.1 Embung

a. Pengertian

Bangunan konservasi air berbentuk kolam untuk menampung air hujan dan air limpuhan atau air rembesan di lahan sawah tadah hujan yang berdrainase baik

b. Tujuan

Sebagai tempat persediaan air di musim kemarau, mengendalikan limpasan, serta dapat digunakan untuk berbagai keperluan (pertanian, peternakan, dan rumah tangga)

c. Persyaratan teknis

1. Kemiringan lereng: 0 -30 % (topografi bergelombang)
2. Penggunaan lahan: lahan tadah hujan
3. Tekstur liat s/d liat berdebu



Gambar 5.2 Tata letak embung yang ideal dalam siklus air

(Sumber : BP2TPDAS IBB, 2002)

d. Analisis Biaya

- Galian tanah embung dengan dimensi panjang 10 m, lebar 10 m, dan kedalaman 2,5 m = 243,4 HOK.
- Biaya : $243,4 \times \text{Rp } 58.000,- = \text{Rp } 14.111.400,-$

Menurut Kusnaedi (2011), untuk lahan 100 ha diperlukan tampungan sebesar 10.000 m^3 . Sehingga untuk pertanian lahan kering seluas 129 ha yang akan

dikonservasi membutuhkan tampungan sebesar 12.900 m³. Untuk tampungan sejumlah tersebut, maka banyaknya embung yang diperlukan adalah:

$$\begin{aligned} \text{jumlah embung} &= \frac{\text{Volume tampungan yang diperlukan (m}^3\text{)}}{\text{volume embung (m}^3\text{)}} \\ \text{jumlah embung} &= \frac{12.900}{10 \times 10 \times 2,5} \\ &= 52 \text{ buah.} \end{aligned}$$

Total biaya = 52 x Rp 14.111.400,- = Rp 733.792.800,-

5.6.2.2 Rorak

a. Pengertian

Teknik konservasi tanah dan air berupa pembuatan lubang-lubang buntu yang dibuat untuk meresapkan air ke dalam tanah serta menampung sedimen-sedimen dari bidang olah.

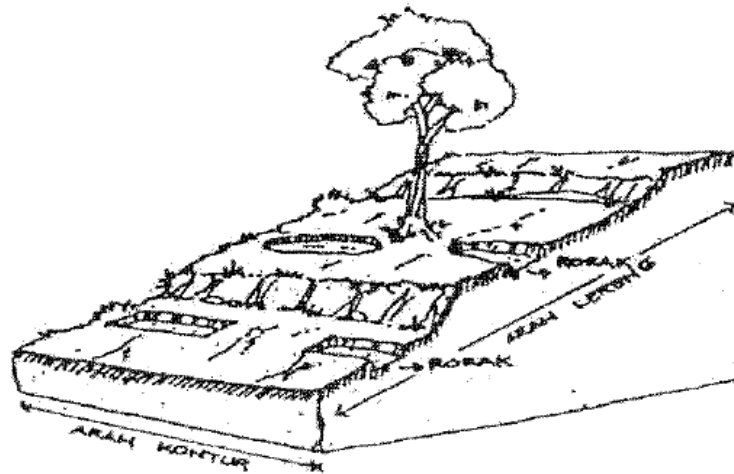
b. Tujuan

Untuk meningkatkan jumlah persediaan air tanah, menahan tanah yang tererosi (sedimen) dari bidang olah dan mengendalikan sedimen yang terkumpul ke bidang olah, serta dapat dikombinasikan dengan mulsa vertikal untuk memperoleh kompos.

c. Persyaratan teknis :

1. Kemiringan lereng: 3 - 30 %
2. Tekstur: kasar
3. Permeabilitas: cepat

d. Gambar Teknis



Gambar 5.3. Rorak yang Dibuat pada Teras
(Sumber : BP2TPDAS IBB, 2002)

e. Analisis biaya

- Kebutuhan tenaga untuk pembuatan rorak buntu dengan ukuran panjang 10 m, lebar 2 m dan dalam 1 m sebesar 16 HOK.
- Biaya : $16 \times \text{Rp } 58.000,- = \text{Rp } 928.000,-$

5.6.2.3 Teras

1. Teras Individu

a. Pengertian

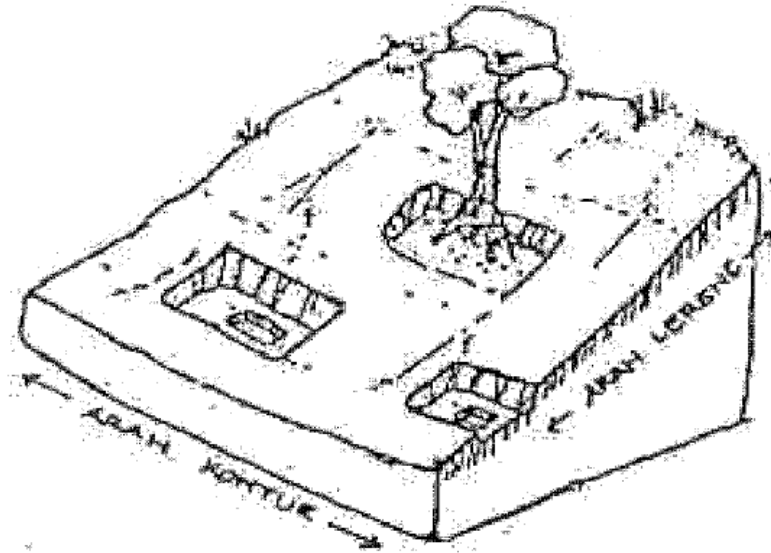
Bangunan konservasi tanah berupa teras yang dibuat hanya pada tempat-tempat yang akan ditanami tanaman pokok. Teras dibuat sejajar kontur dan membiarkan bagian lainnya tetap seperti keadaan semula yang biasanya ditanami tanaman penutup tanah.

b. Tujuan

Untuk mengendalikan erosi permukaan yang terjadi akibat penanaman tanaman pokok.

c. Persyaratan teknis

1. Kemiringan lereng: 10 - 50 %
2. Kedalaman tanah: > 30 cm
3. Penggunaan Lahan: tanaman kayu dengan tanaman penutup tanah



Gambar 5.4. Teras Individu
(Sumber : BP2TPDAS IBB, 2002)

d. Info Teknis Lainnya

Cara pembuatan teras individu

(a) Persiapan

- o Patok induk dipasang mengikuti lereng (tegak lurus kontur). Jarak antara 2 patok induk disesuaikan dengan rencana jarak tanam.
- o Patok pembantu menghubungkan 2 patok induk yang berdampingan pada ketinggian yang sama, masing-masing dipasang di kanan dan kiri patok induk.

(b) Pembuatan bangunan teras

- o Buat batas galian dengan mencangkul tanah mulai dari bagian bawah patok pembantu melalui pencangkulan tanah, panjang 2 m

- o Gali tanah di bagian bawah batas galian dan timbunkan ke bagian bawah sehingga membuat bidang datar dengan panjang 2 m, lebar 1 m atau disesuaikan dengan keperluan tiap jenis tanaman
 - o Tanah urugan dipadatkan dan di bagian tepi khususnya di bawah lereng (bagian timbunan) diberi patok-patok penguat (trucuk)
 - o Tanah di sekeliling teras individu tidak diolah atau ditanami rumput/tanaman penutup tanah
- (c) Pemeliharaan
- o Memperbaiki bangunan teras yang rusak/longsor, mengeruk timbunan tanah di selokan teras atau rorak dan membersihkan jalur dari tumbuhan pengganggu

e. Analisis Biaya

Dimensi: 40 cm x 40 cm x 40 cm

Volume: 0,064 m³

Pekerjaan (per m³):

Pembersihan: Pekerja 0,01 HOK x Rp 58.000 = Rp 580,-

Galian: Pekerja 0,75 HOK x Rp 58.000 = Rp 43.500,-

Mandor 0,025 HOK x Rp 81.000 = Rp 2.025,-

Urugan: Pekerja 1,08 HOK x Rp 58.000 = Rp 62.640,-

Mandor 0,035 HOK x Rp 81.000 = Rp 2.835,-

Biaya pembuatan per lubang teras individu :

$$0.64 (Rp 580 + Rp 43.500 + Rp 2.025 + Rp 62.640 + Rp 2.835) = Rp 7.141,12$$

2. Teras Bangku

a. Pengertian

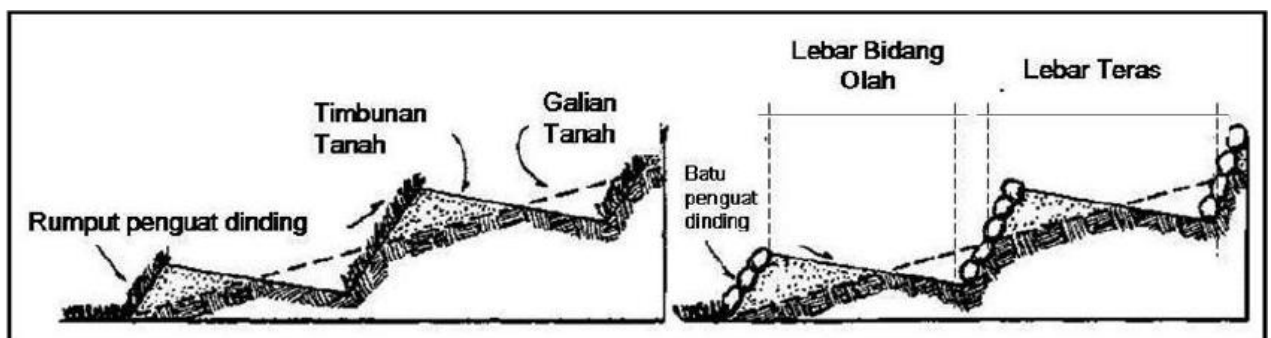
Serangkaian dataran yang dibangun sepanjang kontur pada interval yang sesuai. Bangunan ini dilengkapi dengan penanaman rumput untuk penguat teras. Jenis teras bangku ada yang miring keluar dan miring ke dalam.

b. Tujuan

1. Untuk menyerap aliran permukaan dan mengendalikan erosi
2. Sebagai bidang olah pada lahan miring.

c. Persyaratan Teknis

4. Sesuai untuk daerah pertanian yang berlereng dengan kedalaman tanah yang cukup. Praktek pengendalian erosi ini diadopsi untuk memfasilitasi sistem pertanian tertentu dengan teknik-teknik mekanis.
5. Bila terdapat teknik pengendalian erosi yang lebih murah maka teras bangku tidak perlu diterapkan.



Gambar 5.5. Penampang Melintang Teras Bangku
(Sumber : BP2TPDAS IBB, 2002)

d. Info Teknis Lainnya

1. Lebar: tergantung dari besarnya lereng, keclalarnan tanah , lanaman dan pola tanarnya.
2. Tampilan: Rasio tampilan atas dengan lereng adalah I : 0,5 dan rasio tampilan bawah dengan lereng adalah I : 1-0,5, Penyesuaian harus

dilakukan tergantung dari tipe tanah dan apakah tampungan akan ditanami rumput atau akan ditutup dengan batu. Tampungan teras bangku miring ke luar harus ditutup rumput secara rapat dan merata.

e. Analisis Biaya

Untuk kemiringan 15-25% dibutuhkan 801 HOK per hektarnya.

Biaya : 801 x Rp 58.000,- = Rp 46.458.000,-

5.7. Penambahan volume air tanah Embung

Menurut jenis tanah yang ada di lokasi studi, metode konservasi non vegetatif yang sesuai adalah dengan pembuatan embung. Untuk menghitung volume air tanah yang dapat diresapkan embung digunakan metode pada sumur resapan yang sesuai dengan SNI 03-2453-2002 dengan perumusan sebagai berikut:

$$V_{rsp} = \frac{t_e}{24} A_{total} K \quad \text{dengan :} \quad t_e = \frac{R^{0,92}}{60}$$

di mana :

- K : kecepatan infiltrasi tanah (m/hari)
- t_e : durasi hujan efektif (jam)
- R : tinggi hujan harian rata-rata (L/m²/hari)
- A_{total} : luas dinding + luas alas sumur (m²)
- V_{rsp} : volume air hujan yang meresap (m³)

5.7.1. Analisa Curah Hujan Rata-rata

Data hujan yang digunakan untuk menghitung tinggi hujan harian rata-rata diperoleh dari pos penakar hujan Stasiun Pengamat Pacet No. 186 dengan data yang dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Perhitungan Curah Hujan Rata-rata

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)
2001	97
2002	128
2003	92
2004	225
2005	95
2006	124
2007	109
2008	87
2009	94
2010	100

Sumber : BBWS Brantas, 2013

5.7.2. Analisa Curah Hujan Harian Maksimum

5.7.2.1 Analisa Frekuensi Curah Hujan

Analisa frekuensi curah hujan diperlukan untuk menentukan jenis sebaran (distribusi). Perhitungan analisa frekuensi curah hujan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.21.

Tabel 5.21 Analisa Frekuensi Curah Hujan

No.	Xi	(Xi-X)	(Xi-X) ²	(Xi-X) ³	(Xi-X) ⁴
1	225	109,9	12078,01	1327373,30	145878325,56
2	128	12,9	166,41	2146,69	27692,29
3	124	8,9	79,21	704,97	6274,22
4	109	-6,1	37,21	-226,98	1384,58
5	100	-15,1	228,01	-3442,95	51988,56
6	97	-18,1	327,61	-5929,74	107328,31
7	95	-20,1	404,01	-8120,60	163224,08
8	94	-21,1	445,21	-9393,93	198211,94
9	92	-23,1	533,61	-12326,39	284739,63
10	87	-28,1	789,61	-22188,04	623483,95
Total	1151	0	15.089	1.268.596	147.342.653
X	115,1				
S			40,9456		

Dari tabel di atas dapat dihitung faktor – faktor uji distribusi sebagai berikut :

1. Harga rata – rata (\bar{X})

$$\bar{X} = \sum X_i / n = 1.151/10 = 115,1$$

2. Standar deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = 40,9456$$

3. Koefisien *Skewness*/kemencengan (C_s)

$$C_s = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1) \times (n-2) \times S^3} = 2,5667$$

- 4.

$$C_k = \frac{n^2 \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1) \times (n-2) \times (n-3) \times S^4} = 10,4008$$

5. Koefisien Variasi (C_v)

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} = 0,3557$$

Dari faktor – faktor di atas dapat ditentukan metode mana yang bisa dipakai, seperti disajikan dalam tabel 5.22.

Tabel 5.22. Hasil Uji Distribusi Statistik

No	Jenis Distribusi	Syarat	Perhitungan	Kesimpulan
1	Normal	$C_s \approx 0$ $C_k = 0$	$C_s = 2,5667$ $C_k = 10,4008$	Tidak memenuhi
2	Gumbel	$C_s \leq 1,1396$ $C_k \leq 5,4002$	$C_s = 2,5667$ $C_k = 10,4008$	Tidak memenuhi
3	Log Pearson	$C_s \neq 0$	$C_s = 2,5667$	Memenuhi
4	Log Normal	$C_s \approx 3C_v + C_v^2 = 0,3$	$C_s = 1,1938$	Tidak memenuhi

Berdasarkan perbandingan hasil perhitungan dan syarat pada tabel 5.22, maka dapat dipilih jenis distribusi yang memenuhi syarat, yaitu Distribusi Log Pearson.

Tabel 5.23. Parameter Uji Distribusi Statistik dalam Log

No	R(Xi)	Log Xi	(LogXi - LogXr)	(LogXi - LogXr) ²	(LogXi - LogXr) ³	(LogXi - LogXr) ⁴
1	225	2,3522	0,3091	0,10	0,0295	0,0091
2	128	2,1072	0,0641	0,00	0,0003	0,0000
3	124	2,0934	0,0503	0,00	0,0001	0,0000
4	109	2,0374	-0,0057	0,00	0,0000	0,0000
5	100	2,0000	-0,0431	0,00	-0,0001	0,0000
6	97	1,9868	-0,0563	0,00	-0,0002	0,0000
7	95	1,9777	-0,0654	0,00	-0,0003	0,0000
8	94	1,9731	-0,0700	0,00	-0,0003	0,0000
9	92	1,9638	-0,0793	0,01	-0,0005	0,0000
10	87	1,9395	-0,1036	0,01	-0,0011	0,0001
Jumlah	1151	20,4312	0,0000	0,1334	0,0274	0,0094
Xr	115,1	2,0431				

Dari tabel di atas dapat dihitung faktor – faktor uji distribusi sebagai berikut :

1. Harga rata-rata : $\log X_r = 2,0431$
2. Standar deviasi : 0,1218
3. Koefisien *Skewness*/kemencengan (Cs) : 2,1098
4. Koefisien Kurtosis (Ck) : 8,4482
5. Koefisien Variasi (Cv) : 0,00106

5.7.2.2 (Uji Sebaran Metode Chi Kuadrat)

Pengujian kesesuaian dengan sebaran adalah untuk menguji apakah sebaran yang dipilih dalam pembuatan kurva cocok dengan sebaran empirisnya. Uji Chi Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik data yang dianalisis.

Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter X^2Cr yang dihitung dengan rumus :

$$X^2Cr = \sum_{i=1}^n \left[\frac{Efi - Ofi}{Efi} \right]^2$$

di mana :

X^2Cr : harga Chi Kuadrat

Efi : banyaknya frekuensi yang diharapkan

Ofi : frekuensi yang terbaca pada kelas i

n : jumlah data

Prosedur perhitungan uji Chi Kuadrat adalah :

1. Urutkan data pengamatan dari besar ke kecil
2. Hitunglah jumlah kelas yang ada (K) = $1 + 3,322 \log n$. Dalam pembagian kelas disarankan agar setiap kelas terdapat minimal tiga buah pengamatan.

3. Hitung nilai $Ef = \left[\frac{\sum n}{\sum K} \right]$

4. Hitunglah banyaknya Of untuk masing – masing kelas.
5. Hitung nilai X^2Cr untuk setiap kelas kemudian hitung nilai total X^2Cr dari tabel untuk derajat nyata tertentu yang sering diambil sebesar 5% dengan parameter derajat kebebasan.

Rumus derajat kebebasan adalah :

$$DK = K - (R + 1)$$

Di mana :

DK : derajat kebebasan

K : kelas

R : banyaknya keterikatan (biasanya diambil $R = 2$ untuk distribusi normal dan binomial dan $R = 1$ untuk distribusi Poisson dan Gumbel).

Perhitungan :

$$K = 1 + 3,322 \log n = 1 + 3,322 \log 10 = 4,322 \approx 5$$

$$DK = K - (R + 1) = 5 - (1 + 1) = 3$$

Tabel 5.24. Nilai Kritis untuk Uji Chi Kuadrat

DK	α							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000928	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,1000	0,021	0,05806	0,103	5,991	7,378	9,210	10,579
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,4848	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750

Untuk DK = 2, signifikasi (α) = 5 % maka dari Tabel 5.24 harga X^2_{Cr} = 7,815

$$Ef = 10/4 = 2,5$$

$$\Delta x = \frac{R_{terbesar} - R_{terkecil}}{K - 1} = (2,3522 - 1,9395)/4 = 0,4127/4 = 0,1031$$

$$0,5 \Delta x = 0,0515$$

$$X_{awal} = \left[R_{terkecil} - \frac{1}{2} \Delta x \right] = (1,9395 - 0,0515) = 1,8880$$

Tabel 5.25. Perhitungan X^2_{Cr}

Nilai Batas Tiap Kelas	Ef	Of	$(Ef - Of)^2$	$(Ef - Of)^2 / Ef$
1,8880 < Ri < 1,9911	2,5	5	6,25	2,5
1,9911 < Ri < 2,0942	2,5	3	0,25	0,1
2,0942 < Ri < 2,1973	2,5	1	2,25	0,9
2,1973 < Ri < 2,3004	2,5	0	6,25	2,5
2,3004 < Ri < 2,4035	2,5	1	2,25	0,9
Jumlah	10	10		6,9

Karena nilai X^2_{Cr} analisis < X^2_{Cr} tabel (6,9 < 7,815) maka untuk menghitung curah hujan rencana dapat menggunakan distribusi Log Pearson Type III.

5.7.2.3 Perhitungan Curah Hujan Maksimum

Analisis curah hujan rencana ini bertujuan untuk mengetahui besarnya curah hujan maksimum dalam periode ulang tertentu yang nantinya dipergunakan untuk perhitungan debit banjir rencana. Perhitungan curah hujan rencana dengan metode Log Pearson III menggunakan parameter – parameter statistik yang diambil dari Tabel 5.24. Parameter yang digunakan adalah sebagai berikut :

Nilai rata – rata (log X_r) : 2,0431

Deviasi standar (S) : 0,1218

Koefisien Skewness (Cs) : 2,1098

Logaritma data pada interval pengulangan atau kemungkinan prosentase yang terpilih :

$$\text{Log } R = \log X_r + k \cdot S$$

Harga k tergantung nilai Cs yang sudah didapat.

Cs : 2,1098 \rightarrow K = -0,319

$$\text{Log } R = 2,0431 - 0,319 \cdot 0,1218 = 2,0042$$

$$R = 100,98 \text{ mm}$$

5.7.2.4 Volume Resapan Embung

Setelah tinggi hujan harian rata-rata (R) diketahui, maka volume resapan sumur dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{rsp} = \frac{t_e}{24} A_{total} K \quad t_e = 0,9x \frac{R^{0,92}}{60}$$

K : kecepatan infiltrasi tanah untuk lempung berliat

$$: 7,5 \text{ mm/jam} = 0,18 \text{ m/hari}$$

t_e : durasi hujan efektif

$$: 0,9x((100,98^{0,92})/60) = 1,047 \text{ jam}$$

A_{total} : luas dinding + luas alas sumur

$$: (4 \times 10 \times 2,5) + (10 \times 10) = 200 \text{ m}^2$$

V_{rsp} : volume air hujan yang meresap
 : $(1,047/24) \times 200 \times 0,18 = 1,571 \text{ m}^3/\text{hari}$

Jika setiap tahun terdapat 6 bulan basah dengan 15 hari hujan per bulannya, maka dalam setahun volume air hujan yang dapat terinfiltrasi ke dalam tanah adalah :
 $= 1,383 \times 15 \times 6 = 141,39 \text{ m}^3/\text{tahun. (per embung)}$

Penambahan volume air tanah total untuk 52 embung yang perlu dibangun adalah:
 $= 52 \times 141,39$
 $= 7352,28 \text{ m}^3/\text{tahun.}$

5.8. Penambahan volume air tanah oleh penanaman sengon

Menurut Dahlan (2004) sengon yang berumur 2 tahun yang ditanam di daerah dengan curah hujan sebesar 3489 mm/tahun mempunyai kemampuan untuk meresapkan air di bawah tegakannya sebesar 10,48%, atau 366 mm/tahun. Pada usia 5-7 tahun tanaman sengon dapat dipanen tergantung pada kondisi yang diinginkan, contohnya ukuran diameter maupun tinggi batang. Dengan demikian, demi menjaga upaya konservasi, dapat dilakukan tebang pilih agar kegiatan pemanenan tidak berdampak negatif pada lingkungan.

Untuk penjabaran penambahan volume ketersediaan air tanah dengan adanya upaya konservasi adalah sebagai berikut:

Penambahan volume air tanah, jika diambil curah hujan rata-rata di daerah studi 2000 mm/tahun:

$$= 44 \times \left(\frac{366}{3.489} \times 2000 \right) \times 10$$

$$= 92.312,98 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Maka per hektarnya sengon mampu menambah volume air tanah sebesar:

$$= 92.312,98/44$$

$$= 2.098 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari studi ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil kajian menunjukkan bahwa *water balance* di daerah tangkapan Sumber Jubel tidak defisit, namun faktanya Sumber Jubel mengalami penurunan debit. Sehingga kemungkinan permasalahan Sumber Jubel bukan dari daerah tangkapan air tersebut dan bukan dari *unconfined aquifer*. Namun upaya konservasi tetap perlu dilakukan di daerah tangkapan airtersbut untuk menjaga ketersediaan air pada daerah *unconfined aquifer*. Upaya konservasi yang dapat dilakukan di Sumber Jubel guna meningkatkan ketersediaan airnya adalah melakukan konservasi penanaman sengon pada area belukar dan metode embung pada area pertanian lahan kering.
2. Besar biaya yang diperlukan untuk upaya konservasi adalah Rp 374.000.000,- untuk penanaman 44 ha lahan sengon dan Rp 733.792.800,- untuk pembuatan 52 embung dengan dimensi 10 m x 10 m x 2,5 m.
3. Penambahan volume air tanah karena upaya konservasi dari penanaman tanaman sengon adalah 2.098 m³/tahun per hektar, sedangkan infiltrasi tiap embung adalah 141,39 m³/tahun.

6.2. Saran

Dari analisis data yang telah dilakukan dan dari kesimpulan yang diperoleh, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Diperlukan penelitian yang lebih mendalam terhadap faktor penyebab turunnya debit mata air.
2. Diperlukan survey dan investigasi yang lebih mendetail untuk menentukan lokasi pembangunan konservasi pada lokasi studi.
3. Diperlukan penelitian yang lebih lengkap terhadap vegetasi lain seperti

bambu, pinus, mahoni, dan jati putih.

4. Diperlukan pemetaan yang lebih lengkap tiap tahunnya terhadap tata guna lahan daerah studi guna mengetahui perubahan tutupan lahan yang terjadi.
5. Diperlukan peraturan dan lembaga yang dapat mengelola dan menjaga upaya konservasi. Contohnya membentuk suatu organisasi masyarakat lokal yang tinggal disekitar BKPH Pacet untuk ikut menjaga manfaat jangka panjang dari konservasi ini seperti melakukan tebang pilih pada tanaman konservasi apabila telah panen, agar tidak serta merta melakukan penebangan yang dapat memberikan dampak negatif pada lingkungan.
6. Diperlukan peran aktif dari masyarakat agar manfaat konservasi dapat terus dirasakan. Seperti ikut melestarikan dan menjaga agar tidak merusak upaya konservasi yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, Agung. 2007. Analisis Morfometri Daerah Pemetaan.
- Alvitasari, Devi. 2013. Morfologi Tumbuhan Identifikasi Tanaman Pinus Merkusii.
- Ariesta, Dian. 2013. Studi Potensi Penerapan Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan Pada Kecamatan Rungkut Kota Surabaya, Surabaya.
- Arsyad, S (1989), Konservasi Tanah Dan Air, IPB Press, Bogor.
- Arsyad, S (2000). Konservasi Tanah Dan Air. UPT Produksi Media Informasi. Lembaga Sumberdaya Informasi. Institut Pertanian Bogor. IPB Press, Bogor.
- Arthana, I.W. 2007. Studi Kualitas Air Beberapa Mata Air Di Sekitar Bedugul, Bali.
- Balai Besar Wilayah Sungai Brantas (2013), *Data Dan Informasi*, BBWS Brantas, Surabaya.
- BP2TPDAS IBB, 2002. Pedoman Praktik Konservasi Tanah dan Air, Departemen Kehutanan, Surakarta.
- BPDAS Brantas, 2012. Laporan Kesesuaian Lahan dengan Sebaran Tanaman di Wilayah DAS Brantas, BPDAS Brantas, Surabaya.
- BPS, Kabupaten Mojokerto. 2012. Kabupaten Mojokerto Dalam Angka 2012. Katalog BPS. Kabupaten Mojokerto Badan Pusat Statistik Kabupaten Mojokerto.
- Buol, S.W; F.D. Hole, and R.J. Mc.Cracken. 1980. Soil Genesis and Classification. The IOWA State University Press, Ames.
- Chang, M. 2003. Forest Hidrology: An Introduction to Water and Forests. CRC Press LCC.

- Dahlan, E.N. 2004. Membangun Kota Kebun (Garden City) Bernuansa Hutan Kota, Kerjasama IPB Press dengan Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.
- Dudal R, M Soeprtoharjo. 1957. Soil classification in Indonesia. Bogor.
- Davis and de Wiest 1966. Hydrodeology. Krieger publishing company. Malabar. Florida
- Garland, L. 2004. Bamboo and Watersheds (a practical, economic solution to conservation and development). Holland : EBF (Environmental Bamboo Foundation).
- Greenway, D.R. 1987. Vegetation and Slope Stability.
- Gureti, Pamela. 2011. Studi Efektifitas sumur resapan dalam mengurangi air limpasan hujan (Studi kasus kota Surabaya), Surabaya.
- Hakim et al. 1986. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Universitas Lampung Press. Lampung.
- Hanafiah, K.A. 2005. Dasar-dasar ilmu tanah. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Hartanto, D, 2010. Kontribusi Akar Tanaman Rumput Dan Bambu Terhadap Peningkatan Kuat Geser Tanah Pada Lerengan.
- IUWASH. 2014. Profil Daerah Jatim. Jawa timur.
- Kadarsah. 2008. Aplikasi Sistem Informasi Meteorologi terhadap Indeks Kekeringan Dengan Ketersediaan Air Tanah (Studi Wilayah Jabotabek), Bandung.
- Kartasapoetra, A.G, (1989), *Kerusakan Tanah Pertanian dan Usaha Untuk Merehabilitasinya*. Bina Aksara. Jakarta
- Kashef, Abdel-Azis I, 1987, *Groundwater Engineering*, McGraw-Hill Book Co.
- Kennedy, A.C. and R.I. Papendik. 2002. Microbial characteristic of soil quality. J. Soil and Water Cons.

- Kesuma, RW. 2012. Studi Pemaksimalan Resapan Air Hujan Menggunakan Lubang Resapan Resapan Biopori Untuk Mengatasi Banjir (Studi Kasus Kecamatan Dayeuh Kolot Kabupaten Bandung). Bandung.
- Kodoatie, J.R, dan Sjarief, Roestam (2010), *Tata Ruang Air*, edisi pertama, Andi Offset, Yogyakarta.
- Kodoatie, Robert J., 2012, *Tata Ruang Air Tanah*, Yogyakarta, Penerbit Andi.
- Kusmana, C., Istomo, Wilarso,S., Dahlan,E.N, dan Onrizal, 2004. Upaya Rehabilitasi Hutan dan Lahan Dalam Pemulihan Kualitas Lingkungan.
- Kusnaedi, 2011, Sumur Resapan untuk Pemukiman, Perkotaan dan Pedesaan, Jakarta, Penerbit Penebar Swadaya.
- Kustamar dkk, 2010. Konservasi Sumber Air Berbasis Partisipasi Masyarakat Di Kota Batu Jawa Timur, Kota Batu.
- Lubis, K.S, 2003. Bahaya Erosi Pada Beberapa Penggunaan Lahan Incepticol Desa Telagah Kecamatan Sei Binggei Kabupaten Langkat.
- Mahbub, M. 2012. Menghitung Debit Puncak (Q) Dan Koefisien Run Off (C). Penuntun Praktikum Agrohidrologi. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin.
- Mukhoriyah, Trisakti B., 2014. Kajian Kondisi Daerah Tangkapan Air Danau Kerinci Berdasarkan Perubahan Penutup Lahan Dan Koefisien Aliran Permukaan.
- Pasaribu, H., 2012. Neraca Air Di Perkebunan Kelapa Sawit Di Ppks Sub Unit Kaliana Kabun Riau.
- PDAM Kabupaten Mojokerto, 2009. Sejarah PDAM Kabupaten Mojokerto, Mojokerto.
- PDAM Kabupaten Mojokerto, 2012. Laporan Singkat Hasil Survey Sumber Daya Air Baku Dan Perlindungan Mata Air, Mojokerto.

- Peraturan Daerah Kabupaten Mojokerto, No.9. 2012. Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Mojokerto.
- Peraturan Pemerintah, No.42. 2008. Pengelolaan Sumber Daya Air.
- Permana, G.I., 2013. Rencana Budidaya Sengon. Yogyakarta.
- Pratiwi, 2013. Aplikasi Teknik Konservasi Tanah Dengan Sistem Rorak Pada Tanaman Gmelina (*Gmelina Arborea Roxb.*) Di Khdtk Carita, Banten.
- Priyono, C.N.S dan S. Siswamartana, 2002. Hutan Pinus dan Hasil Air. Pusat Pengembangan Sumber Daya Hutan Perhutan, Cepu. Puslittanak 1991. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Putri, D.I.P., 2009. Analisis Budidaya Dan Produksi Kayu Sengon Sebagai Bahan Baku Plywood Untuk Ekspor Pada PT. Perkebunan Nusantara Xii (Persero), Surabaya.
- Riastika, Meyra. 2012. Pengelolaan Air Tanah Berbasis Konservasi Di Recharge Area Boyolali, Semarang.
- Sidharno, Willem 2013. Evaluasi Ketersediaan Sumber Air Baku Untuk Mendukung Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih Kota Kupang Dengan Skenario Dampak Perubahan Iklim, Surabaya.
- Sidharno, Willem 2013. Mitigasi Dampak Perubahan Iklim Pada Sektor Sumber Daya Air. Surabaya
- Sinukaban, N., 2003. Bahan Kuliah Teknologi Pengelolaan DAS. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Singer, H.A dan E. Purwanto., 2006. Misteri Kekayaan Hayati Hutan Lambusango. Program Konservasi Hutan Lambusango (PKHL). Bau-bau.
- Soemarto, C.D. 1987. Hidrologi Teknik. Penerbit Usaha Nasional. Surabaya.
- Soerianegara, I dan Lemmens, R.H.M.J. 1994. *Plant Resources of South-East Asia No.5(1). Timber Trees: major commercial timbers*. Wageningen, Netherlands: Pudoc Scientific Publishers.

- Soewarno. 2000. Hidrologi Operasional Jilid Kesatu. Penerbit PT Aditya Bakti. Bandung.
- Sofia, Siti dan A. Fiqa. 2010. Jenis-Jenis Pohon Di Sekitar Mata Air Dataran Tinggi Dan Rendah (Studi Kasus Kabupaten Malang). Pasuruan.
- Sofia, S., Fiqa, A.P., Karakterisasi Tumbuhan Lokal untuk Konservasi Tanah dan Air.
- Sri Harto. 2000. Hidrologi Teori Masalah Penyelesaian. Nafiri. Jakarta.
- Sosrodarsono, Suyono, dan Takeda, Kensaku (2003), *Hidrologi Untuk Pengairan*, edisi kesembilan, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sotir, R.B 1984. Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization..
- Suharto, Edi. 2006. Kapasitas Simpanan Air Tanah Pada Sistem Tata Guna Lahan LPP Tahura Raja Lelo Bengkulu. Bengkulu.
- Sukresno dkk, 2009. Dampak Hutan Tnaman Terhadap Erosi, Evapotranspirasi Dan Hidrologi
- Sunjoto., 2011. Teknik Drainase Pro-Air, Bahan Kuliah Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Suripin.2001. Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air. Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.
- Suryatmojo, H. 2006. Konsep Dasar Hidrologi Hutan. Jurusan Konservasi Sumber Daya Hutan, Fakultas Kehutanan UGM, Yogyakarta.
- Sutirto, 2012. Dampak Teknik Menabung Air Melalui Resapan Aliran Per permukaan (Studi Kasus di Daerah Tangkapan Air Kota Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur).
- Tambun, Nohanamian. 2010. “Perhitungan Debit Andalan Sebagai Sumber Air Bersih Jayapura, Surabaya”.
- Triatmodjo, Bambang, (2010), *Hidrologi Terapan*, edisi kedua, Beta Offset, Yogyakarta.

Undang-Undang Republik Indonesia, No 7 . 2004. Sumber Daya Air.

Walton, W.C. 1970. Groundwater Resource Evaluation, McGraw-Hill. New York.

Widjajani, B. Wisnu, 2010. Tipologi Tanaman Penahan Erosi (Studi Kasus di Hutan Jati).

Wilson, G.W. 1993. Coupled Soil-Atmosphere Modelling For Soil Evaporation.
Canada.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 22 Desember 1987. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SLTP Negeri 1 Surabaya, SMA Negeri 5 Surabaya, dan Pendidikan Sarjana di Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember hingga mendapat gelar Sarjana Teknik (ST).

Penulis merupakan Perencana Teknik di BBWS Brantas Ditjen Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum. Pada tahun 2013, Penulis mendapat kesempatan untuk mengikuti karyasiswa pada Program Magister Teknik Sanitasi Lingkungan ITS yang diselenggarakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum.

Untuk lebih lengkapnya, dapat dilihat pada biodata berikut ini:

Nama : Chinta Advent Sisca
NRP : 3312 202 810
Tanggal Ujian : 9 Januari 2015
Periode Wisuda : Maret 2015
Alamat Kontak : chintasisca@yahoo.com
Pendidikan Formal :

Tahun	Nama Sekolah	Program Studi
1994-2000	SDN Kalisari 1 Surabaya	-
2000-2003	SLTP Negeri 1 Surabaya	-
2003-2006	SMA Negeri 5 Surabaya	IPA
2006-2010	Institut Teknologi Sepuluh Nopember	Struktur-Teknik Sipil



TESIS - RE142551

**STUDI KONSERVASI SUMBER AIR TERHADAP
KETERSEDIAAN AIR DI KABUPATEN MOJOKERTO
(STUDI KASUS KECAMATAN PACET)**

CHINTA ADVENT SISCA

NRP 3312202810

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ali Masduqi, ST., MT

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SANITASI LINGKUNGAN

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER

SURABAYA

2015



THESIS - RE142551

**STUDY OF WATER RESOURCE CONSERVATION ON
WATER AVAILABILITY IN THE DISTRICT OF MOJOKERTO
(CASE STUDY IN SUBDISTRICT OF PACET)**

CHINTA ADVENT SISCA

NRP 3312202810

SUPERVISOR

Dr. Ali Masduqi, ST., MT

MAGISTER PROGRAMME

ENVIRONMENTAL SANITATION ENGINEERING

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2015

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)**

**di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
oleh :**

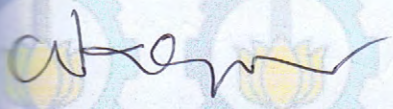
**Chinta Advent Sisca
NRP. 3312 202 810**

**Tanggal Ujian : 09 Januari 2015
Periode Wisuda : Maret 2015**

Disetujui oleh :


Dr. Ali Masduqi, ST., MT.
NIP: 19680128 199403 1 003

(Pembimbing)


Prof. Dr. Ir. Wahyono Hadi, MSc., Ph.D.
NIP: 19500114 197903 1 001

(Penguji)


Ir. Mas Agus Mardyanto, ME., Ph.D.
NIP: 19620816 199003 1 004

(Penguji)


Ir. Sugeng Mujiadi, MT.
NIP: 660 200 293

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP: 19640405 199002 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **“Studi Konservasi Sumber Air Terhadap Ketersediaan Air Di Kabupaten Mojokerto (Studi Kasus Di Kecamatan Pacet)”**. Penulisan tesis ini adalah tujuan akhir untuk dapat menyelesaikan Program Studi Magister Teknik Sanitasi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr.Ali Masduqi, ST, MT, selaku dosen pembimbing dengan penuh kesabaran dan kesungguhan bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan arahan dan petunjuk selama penyusunan Tesis,
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Wahyono Hadi, MSc, PhD, Bapak Mas Agus Mardyanto, ME, PhD, dan Bapak Ir. Sugeng Mujiadi, MT, selaku dosen penguji atas masukan dan koreksinya untuk kesempurnaan Tesis ini.
3. Kedua orang tua yang luar biasa yang senantiasa mendukung dan mendoakan penulis.
4. Kepala Pusat Pendidikan dan Pelatihan (PUSDIKLAT) Kementerian Pekerjaan Umum yang telah memberikan kesempatan beasiswa dan dukungan administrasi untuk mengikuti pendidikan Program Magister Bidang Keahlian Manajemen Teknik Sanitasi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP ITS Surabaya.
5. Seluruh dosen, staf dan karyawan Program Pascasarjana Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuan administrasi selama penyelesaian studi ini.
6. Kepala Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum atas ijin yang diberikan kepada penulis untuk mengikuti program karyasiswa ini.

7. Suami tercinta, Riaditya Dwi Aryadi, ST., yang telah memberi semangat, mendukung dan membantu penulis dalam melewati masa perkuliahan ini hingga akhir.
8. Adik-adikku Chikita, Boy, dan Chindy yang selalu siap membantu ketika penulis membutuhkan.
9. Buah hati penulis yang telah menemani dalam menyelesaikan tesis ini walaupun masih dalam kandungan, semoga menjadi anak yang cerdas, berguna bagi bangsa dan negaranya.
10. Rekan dan sekaligus sahabatku di Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum atas bantuan dan dukungan dalam menyelesaikan Tesis ini.
11. Rekan – rekan seperjuangan yang sekaligus sahabat – sahabatku yang ada pada MTSL ITS 2013.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyusunan Tesis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tesis ini masih jauh dari sempurna, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan Tesis ini, akhirnya penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

STUDI KONSERVASI SUMBER AIR TERHADAP KETERSEDIAAN AIR DI KABUPATEN MOJOKERTO (STUDI KASUS DI KECAMATAN PACET)

Nama Mahasiswa : Chinta Advent Sisca
NRP : 3312 202 810
Pembimbing : Dr. Ali Masduqi, ST, MT

ABSTRAK

Beberapa sumber air mengalami penurunan debit, dan yang paling drastis adalah salah satu sumber air bersih PDAM Sumber Jubel di Kecamatan Pacet Kabupaten Mojokerto. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari Bagian Produksi PDAM “Djoebel Tirta” Kabupaten Mojokerto, pada pengukuran tahun 2012 debitnya turun dari 70 liter/detik menjadi 18,4 liter per detik. Penurunan debit sumber air yang terjadi tentu akan menghambat kinerja PDAM Kabupaten Mojokerto dalam peningkatan akses air bersih kepada masyarakat. Untuk itu perlu dikaji suatu upaya konservasi air pada *catchment area* Sumber Jubel guna meningkatkan ketersediaan airnya.

Konsep dari konservasi ini pada dasarnya adalah memperbesar infiltrasi melalui simpanan air oleh akar tanaman dan dalam bentuk resapan buatan seperti sumur atau embung resapan dan sejenisnya. Metode analisa yang digunakan adalah metode *thornwaite* untuk analisa evapotranspirasi dan *ffolliot* untuk analisa ketersediaan air, selanjutnya akan dianalisa neraca air pada *catchment area* Sumber Jubel.

Upaya konservasi secara vegetatif yaitu melalui penanaman sengon mampu menambah volume air tanah sebesar 2.098 m³/tahun per hektarnya dan konservasi secara non vegetatif melalui pembuatan embung mampu menambah volume air tanah sebanyak 141,39 m³/tahun per embung. Biaya yang diperlukan untuk penanaman sengon adalah Rp 374.000.000,-, sedangkan untuk pembuatan embung sebesar Rp 733.792.800,-.

Kata kunci : konservasi, ketersediaan air, kecamatan pacet.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDY OF WATER RESOURCE CONSERVATION ON WATER AVAILABILITY IN THE DISTRICT OF MOJOKERTO

(CASE STUDY IN SUBDISTRICT OF PACET)

Name : Chinta Advent Sisca
NRP : 3312 202 810
Supervisor : Dr. Ali Masduqi, ST, MT

ABSTRACT

Some water sources decreased, and the most drastic is Sumber Jubel in District Pacet of Mojokerto Regency . Based on information obtained from the Production Department taps " Djoebel Tirta " Mojokerto , in 2012 measurement debits fell from 70 liters / sec to 18.4 liters per second. Decrease discharge occurring water sources will certainly hamper the performance of PDAM Mojokerto in increasing access to clean water to the community. For that needs to be studied in an effort to conserve water catchment area Source Jubel to increase water availability .

The concept of conservation is essentially increase water infiltration through savings by plant roots and artificial recharge as wells or infiltration ponds. The analytical methods used are Thornwaite method for analysis of evapotranspiration and ffolliot for analysis of water availability , will be analyzed water balance in the catchment area of Jubel .

Conservation efforts vegetatively by pl anting sengon can increase the volume of ground water by 2,098 m³ / year per hectare and non- vegetative conservation through the creation of ponds capable of increasing the volume of ground water as much as 141,39 m³ / year for each pond. Cost required for planting sengon is Rp 374.000.000, - , whereas for the manufacture of pond is Rp 733.792.800 , -

Keywords : conservation , water availability , subdistrict of pacet.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

	Hal
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Perumusan Masalah	2
1.3.Tujuan	2
1.4.Manfaat	2
1.5.Ruang Lingkup.....	3
1.6.Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1.Peraturan Perundangan terkait Konservasi Air	5
2.2.Siklus Hidrologi	6
2.3.Aliran Limpasan.....	7
2.4.Koefisien Aliran Permukaan.....	8
2.5.Pergerakan Air Jenuh dalam Tanah.....	9
2.6.Infiltrasi.....	10
2.7.Mata Air	11
2.8.Suhu	11
2.9.Evapotranspirasi Potensial (PE).....	13
2.10 Perhitungan Neraca Air	16
2.11Sifat-sifat Tanah.....	18
2.12Tekstur Tanah	19
2.13Jenis Tanah.....	20

2.14Erosi.....	24
2.14.1Kelas Kemampuan Lahan.....	25
2.14.2Interaksi antara Lereng dan Vegetasi	26
2.15Pengaruh Hutan terhadap Hidrologi.....	27
2.16Analisa Hidrologi	28
2.16.1Perhitungan Curah Hujan Rata-rata.....	29
2.16.1.1Metode Rata-rata aljabar	29
2.16.1.2Metode Poligon Thiessen	29
2.16.1.3Metode Isohyet.....	31
2.16.2Periode Ulang dan Curah Hujan Rancangan	32
2.17Konservasi	33
2.17.1. Konservasi Vegetatif	34
2.17.2. Peranan vegetasi terhadap konservasi air dan tanah.....	37
2.17.3. Konservasi Non Vegetatif	38

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum	41
3.2 Pengumpulan Data.....	42
3.2.1 Data Primer	42
3.2.2 Data Sekunder	42
3.3 Analisa dan Pembahasan	43
3.3.1 Perhitungan Neraca Air	43
3.3.2 Kajian Konservasi	44
3.3.3 Aspek Biaya.....	45
3.4 Perhitungan penambahan ketersediaan air	46
3.5 Kesimpulan dan Saran	46

BAB IV GAMBARAN UMUM WILAYAH

4.1 Batasan dan Luas Wilayah	47
4.2 Keadaan Iklim	49

4.3 Keadaan Topografi.....	50
4.4 Kondisi Tanah.....	51
4.5 Status Lahan.....	52

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Water Balance	53
5.1.1 Data Curah Hujan dan Suhu.....	54
5.1.2 Perbedaan Suhu Pada Stasiun Penakaran Hujan.....	57
5.1.3 Pendugaan Suhu Pada Stasiun Penakaran Hujan Pacet.	58
5.1.4 Evapotranspirasi Potensial.	59
5.1.5 Indeks Panas Tahunan.....	59
5.1.6 Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur.	61
5.1.7 Koefisien Penyesuaian Bujur dan Bulan Setiap Stasiun.	64
5.1.8 Evapotranspirasi Potensial (PE) Wilayah.	66
5.2 Tataguna Lahan Daerah Tangkapan Air Sumber Jubel	67
5.3 Perhitungan Debit Air yang meresap ke dalam Tanah	70
5.4 Perhitungan Debit Air yang keluar dari Sumber Jubel	71
5.5 Perhitungan Neraca Air	71
5.6 Analisis Konservasi Sumber Air.....	72
5.6.1 Metode Vegetatif.....	72
5.6.1.1 Prioritas Tanaman Konservasi	73
5.6.1.2 Penanaman Sengon	75
5.6.2 Metode Non-Vegetatif	76
5.6.2.1 Embung	76
5.6.2.2 Rorak.....	78
5.6.2.3 Teras.....	79
5.7 Penambahan volume air tanah Embung.....	83
5.7.1 Analisa Curah Hujan Rata-rata.	83
5.7.2 Analisa Curah Hujan Harian Maksimum	84
5.7.2.1 Analisa Frekuensi Curah Hujan	84

5.7.2.2 Pengujian Kecocokan Jenis Sebaran	86
5.7.2.3 Perhitungan Curah Hujan Maksimum	88
5.7.2.4 Volume Resapan Embung	88
5.8 Penambahan volume air tanah oleh penanaman sengon	90
 BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 .Kesimpulan.....	91
6.2 Saran.....	92
 DAFTAR PUSTAKA.....	 93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi Sederhana Siklus Hidrologi.....	7
Gambar 2.2. Konsep Dasar Neraca Air.....	17
Gambar 2.3 Interaksi Lereng Dengan Vegetasi.	26
Gambar 2.4. Penetrasi Akar Pada Lapisan Tanah.....	27
Gambar 2.5. Pembagian daerah pengaruh Metode Poligon Thiessen.....	30
Gambar 2.6. Pembagian daerah pengaruh Metode Isohyet.....	31
Gambar 3.1. Bagan alir penelitian.....	41
Gambar 3.2. Bagan alir perhitungan biaya	46
Gambar 4.1. Peta daerah tangkapan air Sumber Jubel.....	48
Gambar 4.2. Peta kelerengan Kecamatan Pacet.....	50
Gambar 4.3. Peta Jenis Tanah Kecamatan Pacet	51
Gambar 4.4. Peta TAHURA R. Soerjo yang memperlihatkan status lahan di sekitar lokasi studi.....	52
Gambar 5.1. Penggunaan lahan daerah tangkapan air Sumber Jubel	69
Gambar 5.2. Tata letak embung yang ideal dalam siklus air	77
Gambar 5.3. Rorak yang Dibuat pada Teras	79
Gambar 5.4. Teras Individu	80
Gambar 5.5. Penampang Melintang Teras Bangku	82

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai C berdasarkan penggunaan lahan.....	8
Tabel 2.2 Hubungan kecepatan infiltrasi dan tekstur tanah.	10
Tabel 2.3 Koefisien Penyesuaian Menurut Bujur Dan Bulan.....	12
Tabel 2.4 Masukan Pendugaan Evapotranspirasi Potensial.....	14
Tabel 2.5 Kelas Tekstur Tanah.	19
Tabel 2.6 Jenis Tanah	20
Tabel 2.7 Kepekaan Terhadap Erosi.....	25
Tabel 2.8 Klasifikasi Kemiringan Lereng Berdasarkan USSSM	25
Tabel 2.9 Kala ulang berdasarkan tipologi kota & luas daerah pengaliran.....	32
Tabel 4.1 Luas Catchment Area Sumber Jubel.....	47
Tabel 4.2 Pembagian iklim menurut Schimdt-Ferguson.....	49
Tabel 4.3 Curah Hujan Kecamatan Pacet	49
Tabel 5.1 Curah Hujan Stasiun Pengamat Pacet No. 186 Tahun 2000-2012.	54
Tabel 5.2 Data Suhu Stasiun Klimatologi Karangploso	56
Tabel 5.3 Perbedaan Suhu.....	57
Tabel 5.4 Data Pendugaan Suhu Pada Stasiun Penakaran Hujan Pacet	58
Tabel 5.5 Nilai indeks panas bulanan pada Stasiun Hujan Pacet.....	60
Tabel 5.6 Nilai Indeks Panas Tahunan (I) dan Nilai a	60
Tabel 5.7 Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur	63
Tabel 5.8 Koordinat Stasiun Hujan.....	64
Tabel 5.9 Koefisien Penyesuaian Menurut Bujur dan Bulan	64
Tabel 5.10 Perhitungan Koefisien Penyesuaian Menurut Garis Lintang/ Bujur.....	66
Tabel 5.11 Evapotranspirasi Potensial (PE) Stasiun Hujan Pacet.....	66
Tabel 5.12 Perhitungan Koefisien Aliran Permukaan Wilayah Sumber Jubel	67

Tabel 5.13 Perhitungan besarnya debit air yang meresap ke dalam tanah pada <i>catchment</i> Sumber Jubel.....	70
Tabel 5.14 Neraca Air pada Catchment Area Sumber Jubel	72
Tabel 5.15 Syarat tumbuh jenis-jenis tanaman.....	73
Tabel 5.16 Urutan Prioritas Pengembangan Tanaman.....	74
Tabel 5.17 Kapasitas Simpanan Air Tanah Tanaman	74
Tabel 5.18 Alih Fungsi Lahan Menjadi Hutan Tanaman Sengon	75
Tabel 5.19 Analisa biaya penanaman sengon (per hektar).....	76
Tabel 5.20 Perhitungan Curah Hujan Rata-rata	84
Tabel 5.21 Analisa Frekuensi Curah Hujan.....	84
Tabel 5.22 Hasil Uji Distribusi Statistik.....	85
Tabel 5.23 Parameter Uji Distribusi Statistik dalam Log	84
Tabel 5.24 Nilai Kritis untuk Uji Chi Kuadrat.....	88
Tabel 5.25 Perhitungan X^2_{Cr}	88

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan pokok manusia yang sangat penting untuk menunjang kegiatan sehari-hari, seperti kebutuhan air minum, industri, pertanian dan lain-lain. Namun pemenuhan kebutuhan akan air tersebut dapat terhambat jika ketersediaannya menurun, salah satu penyebabnya adalah penurunan sumber air baku. Hal inilah yang terjadi di Kecamatan Pacet Kabupaten Mojokerto. Beberapa sumber air mengalami penurunan debit, dan yang paling drastis adalah Sumber Jubel yang terletak di Kecamatan Pacet Kabupaten Mojokerto. Sumber Jubel terletak di ketinggian 735 meter di atas permukaan laut (dpl). Dipilih sebagai lokasi studi dikarenakan potensinya yang besar. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari Bagian Produksi PDAM “Djoebel Tirta” Kabupaten Mojokerto, pada pengukuran tahun 2012 debitnya turun dari 70 liter/detik menjadi 18,4 liter per detik (PDAM, 2014).

Penurunan Sumber Jubel ini tentu berpengaruh pada tingkat pelayanan PDAM “Djoebel Tirta” Kabupaten Mojokerto dalam memenuhi kebutuhan air bersih pelanggan. Karena Sumber Jubel merupakan salah satu sumber air potensial PDAM Kab. Mojokerto. Saat ini tingkat pelayanan 66 % , untuk meningkatkan pelayanan PDAM, selain terus mencari sumber air baru, upaya konservasi sumber air pun perlu dilakukan agar sumber air tidak mati (IUWASH, 2014).

Upaya konservasi dilakukan pada daerah tangkapan Sumber Jubel yang memiliki luas 304 H a. Konsep dari konservasi ini pada dasarnya adalah memperbesar infiltrasi. Limpasan hujan dan infiltrasi merupakan dua fenomena alami yang bersifat berlawanan. Jika salah satu membesar maka yang lainnya mengecil. Dengan kata lain, mengendalikan debit sama artinya dengan mengendalikan limpasan hujan dan erosi, sedangkan mengendalikan limpasan hujan dan erosi harus dimulai dari upaya memperbesar infiltrasi pada suatu

catchment area. Selain memperbesar infiltrasi, upaya lain yang dapat dilakukan adalah pengendalian limpasan hujan dalam bentuk resapan buatan seperti sumur atau kolam resapan dan sejenisnya.

1.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dipaparkan, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas antara lain:

1. Apakah upaya konservasi yang tepat dilakukan di Sumber Jubel guna meningkatkan ketersediaan airnya?
2. Seberapa besar biaya yang diperlukan untuk upaya konservasi tersebut?
3. Seberapa besar penambahan volume ketersediaan air tanah dengan adanya upaya konservasi tersebut?

1.3. Tujuan

Tujuan dalam studi ini adalah:

1. Menentukan upaya konservasi yang tepat berdasarkan kondisi di Sumber Jubel guna meningkatkan ketersediaan airnya dengan luas daerah tangkapan sebesar 304 ha.
2. Mengkaji seberapa besar biaya yang diperlukan untuk upaya konservasi tersebut.
3. Mengkaji seberapa besar penambahan volume ketersediaan air tanah dengan adanya upaya konservasi.

1.4. Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari studi ini adalah sebagai rekomendasi perbaikan bagi instansi terkait dalam upaya memanfaatkan dan melestarikan sumber air yang ada di Mojokerto agar tetap terjaga keberadaannya.

Alternatif upaya konservasi sumber air yang ada di dalam studi ini, diharapkan dapat meningkatkan ketersediaan air di musim kemarau dan secara

tidak langsung dapat memberikan kontribusi positif terhadap penurunan debit banjir pada musim penghujan.

1.5. Ruang lingkup

Lokasi penelitian meliputi daerah tangkapan Sumber air Jubel Kecamatan Pacet Kabupaten Mojokerto. Adapun aspek yang akan dibahas adalah aspek teknis dan aspek lingkungan sebagai upaya konservasi daerah tangkapan Sumber Jubel, serta aspek biaya.

1.6. Batasan Permasalahan

Dalam penelitian terdapat beberapa batasan dalam pembahasan permasalahan yaitu:

1. Pembahasan aspek teknis meliputi analisa neraca air dan upaya konservasi terhadap ketersediaan air.
2. Pembahasan aspek biaya meliputi besarnya biaya untuk pembangunan upaya konservasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Peraturan Perundangan terkait Konservasi Air

Pelaksanaan konservasi air di Indonesia dilandasi oleh beberapa aspek hukum antara lain:

- a. Undang-Undang Dasar 1945 pasal 33 ayat (3), yang berbunyi “Bumi, air, dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh Negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat”. Disini tersirat bahwa keberadaan air perlu dikelola dan dilindungi agar dapat dimanfaatkan bagi kemakmuran rakyat.
- b. Undang-Undang No. 7 tahun 2004 tentang Sumber Daya Air pasal yang membahas mengenai sumber air antara lain pasal 1, pasal 20 sampai dengan pasal 25. Pasal 1 menyebutkan bahwa sumber air adalah tempat atau wadah air alami dan/atau buatan yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah. Keberadaan dan keberlanjutan sumber air perlu dijaga keadaan, sifat, dan fungsinya agar senantiasa memadai untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup pada waktu sekarang maupun yang akan datang. Upaya yang dapat dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut antara lain dengan melaksanakan konservasi. Pada pasal 20 konservasi sumber daya air dilakukan melalui kegiatan perlindungan dan pelestarian sumber air. Bentuk dari perlindungan dan pelestarian sumber air ini dapat berupa pemeliharaan kelangsungan fungsi resapan air dan daerah tangkapan air, serta pengisian pada sumber air. Hal ini tertuang pada pasal 22 ayat 2.
- c. Peraturan Pemerintah No. 42 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA). Sumber Daya Air yang dimaksud dalam peraturan ini meliputi air, sumber air, dan daya air yang terkandung di dalamnya. Dalam

PP ini air yang dimaksud mencakup semua air yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat. Pembahasan mengenai konservasi tertuang pada bab V, pada pasal 49 ayat 1 disebutkan bahwa konservasi sumber daya air ditujukan untuk menjaga, kelangsungan keberadaan, daya dukung, daya tampung dan fungsi sumber daya air. Seperti pada UU No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air, PP No. 42 Tahun 2008 ini juga menyebutkan salah satu bentuk konservasi sumber daya air adalah perlindungan dan pelestarian sumber air. Perlindungan dan pelestarian sumber air dapat dilakukan dengan pemeliharaan kelangsungan fungsi resapan air dan daerah tangkapan air, serta pengisian air pada sumber air. Upaya ini dapat dilakukan dengan melaksanakan kegiatan peningkatan daya resap lahan terhadap air hujan serta meningkatkan pengimbuhan air ke lapisan air tanah (akuifer).

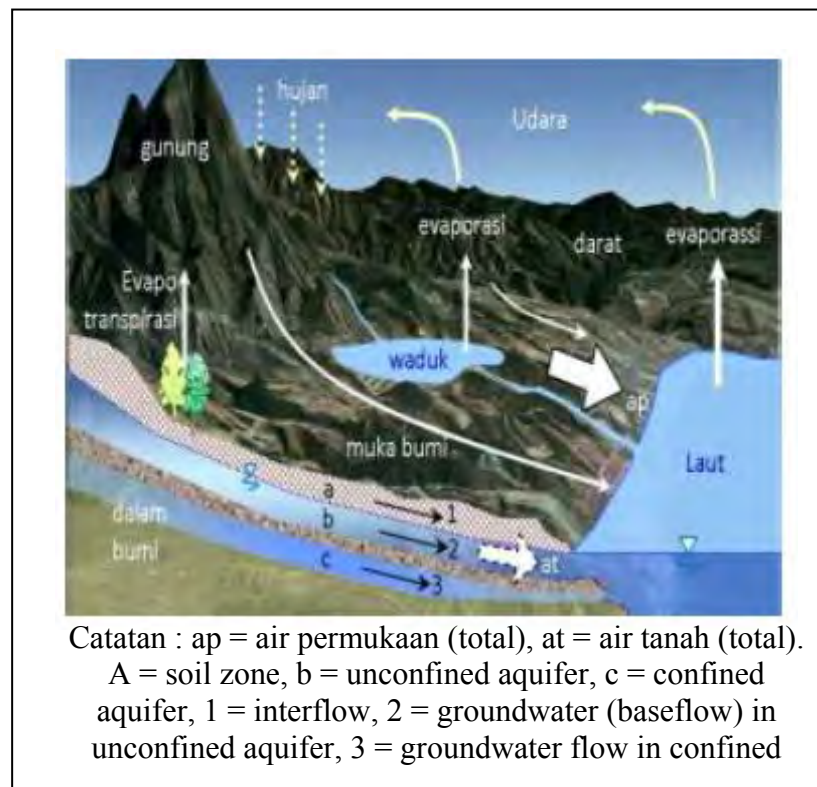
- d. Perda Kabupaten Mojokerto No. 9 Tahun 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Mojokerto tahun 2012-2032 pasal 25 menyebutkan pemeliharaan dan perlindungan kelangsungan fungsi terhadap sumber-sumber mata air, daerah resapan air, dan daerah tangkapan air terkandung dalam rencana sistem jaringan air baku untuk air bersih.

2.2. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi seringkali digambarkan dengan air menguap dari permukaan laut akibat energi panas matahari. Uap air yang terbentuk tersebut kemudian dibawa udara yang bergerak dan mengalami kondensasi, sehingga membentuk butir-butir air, yang akan jatuh kembali sebagai hujan. Hujan tersebut dapat jatuh di laut, darat dan sebagian menguap kembali sebelum mencapai ke permukaan bumi.

Hujan yang jatuh di permukaan bumi akan menyebar ke berbagai arah

dengan beberapa cara. Sebagian akan tertahan sementara di permukaan bumi sebagai genangan, dan sebagian akan mengalir menjadi aliran permukaan. Jika permukaan tanah porus, sebagian air akan mengalami infiltrasi atau meresap ke dalam tanah. Sebagian lagi akan kembali melalui penguapan dan transpirasi oleh tanaman. Pada kondisi tertentu air dapat mengalami peristiwa yang disebut interflow yaitu mengalir secara lateral pada zona kapiler. Uap air dalam zona kapiler dapat juga kembali ke permukaan tanah kemudian menguap. Air yang tersimpan dalam zona jenuh air disebut air tanah. Air tanah ini bergerak sebagai aliran air tanah melalui batuan atau lapisan tanah sampai keluar ke permukaan sebagai mata air (spring) atau sebagai rembesan ke danau, waduk, sungai atau ke laut.



Gambar 2.1 Ilustrasi sederhana siklus hidrologi (Kodoatie, 2012)

2.3. Aliran Limpasan

Merupakan bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju ke sungai, danau dan lautan. Air hujan yang jatuh ke permukaan

tanah ada yang langsung masuk ke dalam tanah atau disebut air infiltrasi. Sebagian lagi tidak sempat masuk ke dalam tanah dan oleh karenanya mengalir di atas permukaan tanah ke tempat yang lebih rendah. Ada juga bagian dari air hujan yang telah masuk ke dalam tanah, terutama pada tanah yang hampir atau telah jenuh, air tersebut ke luar ke permukaan tanah lagi dan lalu mengalir ke bagian yang lebih rendah. Aliran air permukaan yang disebut terakhir sering juga disebut air larian atau limpasan (Mahbub, 2012)

Curah hujan yang jatuh terlebih dahulu memenuhi air untuk evaporasi, intersepsi, infiltrasi, dan mengisi cekungan tanah baru kemudian air larian berlangsung ketika curah hujan melampaui laju infiltrasi ke dalam tanah.. Faktor yang mempengaruhi volume air larian adalah bentuk dan ukuran DAS, topografi, dan tata guna lahan. Vegetasi dapat menghalangi jalannya air larian dan memperbesar jumlah air infiltrasi dan masuk ke dalam tanah.

2.4. Koefisien Aliran Permukaan

Koefisien aliran permukaan (C) adalah bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya air larian terhadap besarnya curah hujan.

$$C = \frac{\text{Air Larian (mm)}}{\text{Curah hujan (mm)}}$$

Misalnya C untuk hutan adalah 0,1 artinya 10% dari total curah hujan akan menjadi aliran permukaan. Angka C ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan apakah suatu DAS telah mengalami gangguan fisik. Nilai C yang besar berarti sebagian besar air hujan menjadi air larian, maka ancaman erosi dan banjir akan besar. Besaran nilai C akan berbeda-beda tergantung penggunaan lahan.

Tabel 2.1 Nilai C berdasarkan penggunaan lahan

No.	Tutupan Lahan	Nilai C
1	Hutan Primer	0,01
2	Hutan Sekunder	0,05

3	Kebun campuran	0,5
4	Ladang-Tegalan	0,5
5	Perkebunan	0,5
6	Semak belukar	0,3
7	Sawah	0,2
8	Jalan Aspal	0,7
9	Lahan Terbuka	0,95
10	Pemukiman	0,9

Sumber: Mukhoriyah, 2012

2.5. Pergerakan Air Jenuh dalam Tanah

Air hujan yang memasuki tanah, mula-mula menggantikan udara yang terdapat dalam pori makro dan kemudian pori mikro. Air tambahan berikutnya akan bergerak ke bawah melalui proses pergerakan air jenuh. Gerakan ini berlangsung terus selama cukup air ditambahkan dan tidak ada penghalang. Pergerakan air jenuh ditentukan oleh dua faktor, yaitu (1) daya air yang bergerak (driving force), dan (2) kemampuan pori melalukan air (hydraulic conductivity = hantaran hidrolik) (Hakim *et al.* 1986).

Jumlah air yang bergerak melalui profil tanah ditentukan oleh faktor-faktor: (1) jumlah air yang ditambahkan, (2) kemampuan infiltrasi permukaan tanah, (3) hantaran hidrolik horizon-horizon, dan (4) jumlah air yang ditahan oleh profil tanah pada keadaan kapasitas lapang.

Tekstur dan struktur berbagai horizon menentukan pengaruh keempat faktor tersebut. Tanah berpasir mempunyai kemampuan infiltrasi dan hantaran hidrolik tinggi serta daya menahan air yang rendah, sehingga pergerakan air jenuh lebih mudah dan cepat. Sebaliknya, tanah bertekstur halus umumnya mempunyai perkolasi air rendah karena penyumbatan pori oleh pembengkakan koloid tanah, serta adanya udara yang terjepit.

2.6. Infiltrasi

Infiltrasi adalah peristiwa masuknya air ke dalam tanah. Perkolasi adalah peristiwa bergerakanya air ke bawah dalam profil tanah. Laju infiltrasi adalah banyaknya air per satuan waktu yan masuk melalui permukaan tanah. Laju maksimum air dapat masuk ke dalam tanah pada suatu saat disebut kapasitas infiltrasi (Arsyad 2000).

Selama intensitas hujan (laju penyediaan air) lebih kecil dari kapasitas infiltrasi, maka laju infiltrasi sama dengan intensitasi hujan. Jika intensitas hujan melampaui kapasitas infiltrasi maka terjadilah genangan air di atas permukaan tanah atau aliran permukaan

Kapasitas infiltrasi rata-rata berkorelasi dengan sifat-sifat fisik tanah; korelasi adalah positif terhadap porositas tanah dan kandungan bahan organik, dan negatif terhadap kandungan liat dan berat isi tanah. Harga-harga untuk tanah-tanah bervegetasi secara karakteristik adalah lebih tinggi tergantung pada tipe vegetasi dan faktor-faktor lainnya. Pemadatan oleh hujan, hewan, ataupun peralatan yang berat secara drastis dapat mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap ar dengan menghilangkan ruang pori non-kapiler (Lee 1980).

Tabel 2.2 Hubungan kecepatan infiltrasi dan tekstur tanah

Tekstur tanah	Kecepatan Infiltrasi (mm/jam)	Kriteria
Pasir berlempung	25-50	Sangat cepat
Lempung	15-25	Cepat
Lempung berdebu	7,5-15	Sedang
Lempung berliat	0,5-7,5	Lambat
Liat	< 0,5	Sangat lambat

Sumber: Kusnaedi, 2011

2.7. Mata Air

Menurut UU No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air Pasal 35, mata air merupakan salah satu sumber air. Dalam ilmu hidrogeologi mata air merupakan titik atau terkadang berbentuk suatu area kecil tempat air tanah muncul atau dilepaskan dari suatu akuifer (Kodoatie, 2012). Kebanyakan air yang bersumber dari mata air kualitasnya baik sehingga umumnya digunakan sebagai sumber air minum oleh masyarakat sekitarnya (Arthana, 2007).

Dalam siklus hidrologi air mengalir dari tempat yang tinggi (gunung, pegunungan, dataran tinggi) ke tempat yang rendah (dataran rendah, daerah pantai) dan bermuara ke wadah air (laut, danau), air meresap ke dalam tanah (infiltrasi) dan mengalir juga secara gravitasi dari dalam tanah dengan elevasi yang lebih tinggi ke lebih rendah. Selanjutnya air yang mengisi pori-pori tanah ini membentuk suatu tempat penyimpanan air tanah yang disebut akuifer. Akibat patahan lapisan batuan, air tanah pada akuifer memancar ke permukaan membentuk suatu mata air (Kodoatie, 2012).

Pengelolaan mata air didasarkan pada daerah imbuhan (*recharge area*) dan daerah lepasan (*discharge area*). *Recharge area* merupakan daerah resapan air yang mampu menambah air tanah secara alamiah dan letaknya berada di elevasi yang lebih tinggi dari mata air. Sedangkan *discharge area* merupakan daerah pemanfaatan dari air tanah tersebut dan berada di hilir dengan morfologi berupa dataran rendah.

Tiga faktor yang menentukan besarnya debit mata air adalah permeabilitas akuifer, luasan daerah resapan (*recharge area*) yang mengisi akuifer, dan besarnya pengisian air tanah (*groundwater recharge*) (Davis and deWeist 1966).

2.8. Suhu

Suhu udara dapat disebut sebagai ukuran derajat panas udara. Suhu udara umumnya diukur berdasarkan skala tertentu menggunakan thermometer. Beberapa faktor yang mempengaruhi suhu udara: tinggi tempat, daratan atau lautan, radiasi matahari, sudut datang sinar matahari, angin (Soewarno, 2000)

Data suhu berasal dari suhu rata-rata harian, bulanan dan tahunan. Adapun pengertian masing-masing adalah (A.G Kertasapoetra, 2005):

1. Suhu rata-rata harian, yaitu:
 - a. Dengan menjumlahkan suhu maksimum dan minimum hari tersebut, selanjutnya dibagi dua.
 - b. Dengan mencatat suhu setiap jam pada hari tersebut selanjutnya dibagi 24.
2. Suhu rata-rata bulanan, yaitu dengan menjumlahkan suhu rata-rata harian, yang selanjutnya dibagi 30;
3. Suhu rata-rata tahunan, yaitu dengan menjumlahkan suhu rata-rata bulanan, yang selanjutnya dibagi 12;
4. Suhu normal adalah angka rata-rata suhu yang diambil dalam waktu 30 tahun.

Di Indonesia tidak semua stasiun mempunyai data suhu udara. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan pendugaan suhu udara dari stasiun terdekat dengan mempertimbangkan faktor ketinggian tempat. Untuk penyesuaian ini digunakan cara Mock (1973).

$$\Delta t = 0,006 (z_1 - z_2) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.1)$$

Dengan:

Δt = perbedaan suhu antara stasiun pengukuran dengan stasiun pengukuran yang dianalisa ($^\circ\text{C}$)

z_1 = elevasi stasiun pengukuran suhu (m)

z_2 = elevasi stasiun hujan yang dianalisa (m)

Tabel 2.3 Koefisien Penyesuaian Menurut Bujur Dan Bulan

Bujur / Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sept	Okt	Nov	Des
50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.7
49	0.75	0.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	0.93	0.76	0.71
48	0.76	0.8	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	0.93	0.77	0.72
47	0.77	0.8	1.02	1.14	1.3	1.32	1.33	1.22	1.04	0.93	0.78	0.73
46	0.79	0.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	0.94	0.79	0.74
45	0.8	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
44	0.81	0.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.3	1.2	1.04	0.95	0.8	0.76
43	0.81	0.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.2	1.04	0.95	0.81	0.77
42	0.82	0.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	0.95	0.82	0.79
41	0.83	0.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	0.96	0.82	0.8
40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
39	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82
38	0.85	0.84	1.03	1.1	1.23	1.23	1.25	1.17	1.04	0.96	0.84	0.83
37	0.86	0.84	1.03	1.1	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	0.97	0.85	0.83
36	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	0.97	0.86	0.84

Bujur / Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sept	Okt	Nov	Des
35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
34	0.88	0.85	1.03	1.09	1.2	1.2	1.22	1.16	1.03	0.97	0.87	0.86
33	0.88	0.86	1.03	1.09	1.19	1.2	1.22	1.15	1.03	0.97	0.88	0.86
32	0.89	0.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	0.98	0.88	0.87
31	0.9	0.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.2	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
30	0.9	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.2	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
29	0.91	0.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	0.98	0.9	0.89
28	0.91	0.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	0.98	0.9	0.9
27	0.92	0.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	0.99	0.9	0.9
26	0.92	0.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
20	0.95	0.9	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1	0.93	0.94
15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
10	1	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.01	1.02	0.98	0.99
5	1.02	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1	1.04	1.01	1.04
-5	1.06	0.95	1.04	1	1.02	0.99	1.02	1.03	1	1.05	1.03	1.06
-10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1	1.01	1	1.06	1.05	1.1
-15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1	1	1.07	1.07	1.12
-20	1.14	1	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1	1.08	1.09	1.15
-25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1	1.1	1.11	1.18
-30	1.2	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.9	0.96	1	1.12	1.14	1.21
-35	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1	1.13	1.17	1.25
-40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1	1.15	1.2	1.29
-42	1.28	1.07	1.07	0.92	0.85	0.76	0.82	0.92	1	1.16	1.22	1.31
-44	1.3	1.08	1.07	0.92	0.83	0.74	0.81	0.91	0.99	1.17	1.23	1.33
-46	1.32	1.1	1.07	0.91	0.82	0.72	0.79	0.9	0.99	1.17	1.25	1.35
-48	1.34	1.11	1.08	0.9	0.8	0.7	0.76	0.89	0.99	1.18	1.27	1.37
-50	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41

Sumber: Sosrodasono dan Takeda (2003)

2.9. Evapotranspirasi Potensial (PE)

Evaporasi adalah berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara (Sosrodarsono dan Takeda, 2003). Sedangkan Transpirasi merupakan proses keluarnya air dari tanaman akibat proses respirasi dan fotosintesis.

Kombinasi dua proses yang saling terpisah dimana kehilangan air dari permukaan tanah melalui proses evaporasi dan kehilangan air dari tanaman melalui proses transpirasi disebut sebagai *evapotranspirasi*.

Faktor meteorologi yang mempengaruhi besarnya evaporasi adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 2010):

1. Radiasi matahari.
2. Kecepatan Angin.
3. Kelembaban (*humiditas*) relatif.

4. Suhu (temperatur).

Faktor penting terjadinya evapotranspirasi adalah tersedianya air dalam jumlah banyak. Jika air selalu tersedia dalam jumlah yang berlimpah bagi tumbuhan untuk digunakan dalam proses transpirasi, akan lebih banyak yang digunakan dibandingkan jika jumlah air yang tersedia lebih sedikit yang dapat digunakan. Oleh karena itu, perbedaan harus dibuat antara evapotranspirasi potensial (potential evapotranspiration) dan evapotranspirasi sebenarnya terjadi (Wilson, 1993).

Dalam perhitungan evapotranspirasi potensial dapat menggunakan beberapa metode terkait data yang tersedia, diantaranya seperti tabel dibawah ini:

Tabel 2.4 Beberapa Masukan Pendugaan Evapotranspirasi Potensial (PE) Dan Masukan Data Yang Dibutuhkan Dalam Perhitungan.

No	Rumus	Data Klimatologi yang Diperlukan
	<i>Rumus-rumus yang menggunakan data suhu udara rata-rata harian:</i>	
1.	Lowry – Johnson	Suhu selama masa tanam.
2.	Thornthwaite	Suhu.
3.	Blaney – Criddle	Suhu, % sinar matahari, koefesien tanaman
	<i>Rumus-rumus yang menggunakan data suhu udara rata-rata harian dan radiasi matahari:</i>	
1.	Jansen – Haise	Suhu, radiasi matahari.
2.	Turc	Suhu, radiasi matahari.
3.	Grassi	Suhu, radiasi matahari dan koefesien tanaman.
4.	Stephen – Steward	Suhu, radiasi matahari.
5.	Makkink	Suhu, radiasi matahari.
	<i>Rumus-rumus yang menggunakan data suhu udara rata-rata harian dan kelembaban:</i>	

1.	Blaney – Morim	Suhu, % sinar matahari, kelembaban relatif, koefesien tanaman.
2.	Harmon	Suhu, kelembaban mutlak, % sinar matahari.
3.	Hargreaves	Suhu, kelembaban relatif, % sinar matahari, koefesien tanaman.
4.	Papadakis	Suhu, tekanan uap jernih, suhu rata-rata harian dan suhu minimum.
<i>Rumus-rumus Kompleks</i>		
1.	Penmann	Suhu, % sinar matahari, kelembaban relatif, koefesien tanaman.
2.	Christiansen	Suhu, kelembaban relatif, % sinar matahari, koefesien tanaman
3.	Van Bavel	Suhu, tekanan uap jernih, suhu rata-rata harian dan suhu minimum.

Sumber: CD Soemarto, 1987

Pemakaian rumus yang ada dalam perkiraan besarnya evapotranspirasi potensial (PE) umumnya sangat dipengaruhi oleh ketersediaan data. Pada studi ini untuk menghitung evapotranspirasi potensial digunakan *Thornthwaite*.

- **Evapotranspirasi Potensial Metode Thornthwaite**

Evapotranspirasi potensial adalah nilai yang menggambarkan kebutuhan lingkungan, varian vegetasi, atau kawasan pertanian untuk melakukan evapotranspirasi. *Thornthwaite* mengusulkan metode empiris menghitung evapotranspirasi potensial dari data suhu udara rata-rata bulanan, standar bulan 30 hari dan jam penyinarannya 12 jam. Adapun persamaan adalah:

$$PE_x = 16 \times \left(\frac{10 T_m}{I} \right)^a \quad (2.2)$$

$$PE = f \times PE_x \quad (2.3)$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1,514} \quad (2.4)$$

$$a = (6,75 \cdot 10^{-7}) \cdot I^3 - (7,71 \cdot 10^{-5}) \cdot I^2 + (1,792 \cdot 10^{-2}) \cdot I + 0,49239 \quad (2.5)$$

Dengan:

T_m = suhu udara rata-rata bulanan ($^{\circ}\text{C}$)

f = Koefisien penyesuaian hubungan antara jumlah jam dan hari terang berdasarkan lokasi

I = indeks panas tahunan

PE_x = Evapotranspirasi potensial yang belum disesuaikan faktor f (mm/bulan)

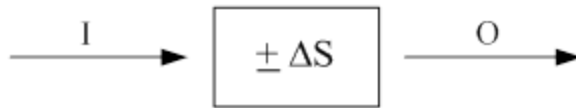
PE = Evapotranspirasi potensial (mm/bulan)

2.10 Perhitungan Neraca Air

Water balance (neraca air) adalah suatu analisa yang menggambarkan pemanfaatan sumber daya air suatu daerah tinjauan yang didasarkan pada perbandingan antara kebutuhan dan ketersediaan air. Keseimbangan air merupakan proses keluar masuk dan storage air dalam suatu ruang tinjau dalam hal ini pada daerah tangkapan air Sumber Jubel.

Pendekatan strategis merupakan pendekatan dengan metode keseimbangan antara suplai dan kebutuhan sertaantisipasi atau berusaha menghindari ancaman dari dampak kekeringan (Kodoatie dan Sjarief 2010). Pendekatan harus berdasar pada keseimbangan air antara ketersediaan dan kebutuhan, dari sisi ketersediaan sumber daya air yang ada harus terjamin keberadaannya yang berkelanjutan. Sedangkan dari sisi kebutuhan, air yang dimanfaatkan harus lebih kecil atau sama dengan ketersediaan. Dari strategi tersebut maka akan diurai lebih dalam konsep dan metode yang akan digunakan dalam penelitian.

Konsep neraca air pada dasarnya menunjukkan keseimbangan antara jumlah air yang masuk (inflow) dan yang keluar (outflow) dalam suatu proses sirkulasi air pada periode tertentu (Sri Harto, 2000). Secara umum persamaan neraca air dirumuskan dengan:



Gambar 2.2. Konsep Dasar Neraca Air (Sri Harto, 2000)

Secara umum persamaan neraca air dirumuskan dengan:

$$I = O \pm \Delta S \quad (2.6)$$

I = masukan (inflow)

O = keluaran (outflow)

ΔS = perubahan tampungan.

Neraca air merupakan hubungan antara masukan air total dan keluaran air total yang terjadi pada suatu. Teknik neraca air sebagai salah satu subjek utama dalam hidrologi, merupakan suatu cara untuk mendapatkan jawaban penting atas permasalahan praktis hidrologi, yaitu dalam hal evaluasi kuantitatif sumberdaya air wilayah, serta perubahan akibat intervensi kegiatan manusia. Informasi neraca air sungai diperlukan untuk operasional pengelolaan dan prakiraan hidrologi dalam pengelolaan air umumnya.

Faktor-faktor yang digunakan dalam perhitungan dan analisis neraca air adalah ketersediaan air dari aliran air tanah (air yang meresap dalam tanah) dan kebutuhan air dari tiap daerah layanan (kebutuhan air tanah sendiri untuk air bersih PDAM berupa debit output Sumber Jubel yang digunakan sebagai sumber air bersih PDAM Kab. Mojokerto). Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung neraca air adalah sebagai berikut:

$$Q_{\text{ketersediaan}} = Q_{\text{kebutuhan}} \pm \Delta S \quad (2.7)$$

Keterangan:

$Q_{\text{ketersediaan}}$ = debit ketersediaan air tanah

$Q_{\text{kebutuhan}}$ = debit kebutuhan air tanah

ΔS = perubahan tampungan

Untuk mengetahui jumlah air yang meresap dalam tanah ditentukan dengan perhitungan potensi air tanah dengan pendekatan empiris dengan persamaan dari Ffolliot:

$$R = (P - PE) \cdot A_i \cdot (1 - Cro) \quad (2.8)$$

Keterangan:

R = Volume air yang meresap ke dalam tanah (m^3)

P = Curah hujan (m/tahun)

PE = Evapotranspirasi Potensial (m/tahun)

Ai = Luasan *catchment area* (m^2)

Cro = Koefisien limpasan permukaan

2.11. Sifat-sifat Tanah

Tanah adalah suatu tubuh alam yang tersusun oleh bahan-bahan padat (hancuran batu, mineral/pelikan dan bahan organik, cairan dan gas), terdapat di permukaan lahan, menempati ruang tertentu, dan dicirikan oleh horison dan/atau lapisan, yang dapat dipisahkan dari bahan asalnya karena telah mengalami penambahan, pelenyapan, pemindahan dan malih wujud energi dan bahan penyusunnya. Tubuh tanah ini terbentuk oleh adanya saling tindak antara bahan induk tanah di suatu loka dengan lingkungannya yang melibatkan aneka proses pembentukan tanah (Buol *et al.* 1980; Soil Survey Staff 1998, diacu dalam Mega 2010). Tekstur tanah menunjukkan komposisi partikel penyusun tanah (separat) yang dinyatakan sebagai perbandingan proporsi (%) relatif antara fraksi pasir (*sand*) (berdiameter 2,00-0,20 mm atau 2000-200 μm), debu (*silt*) (berdiameter 0,20-0,002 mm atau 200-2 μm) dan liat (*clay*) (<2 μm). Proporsi fraksi menurut kelas tekstur tanah dapat dilihat pada tabel 4. Struktur merupakan kenampakan bentuk atau susunan partikel-partikel primer tanah (pasir, debu dan liat individual) hingga partikel-partikel sekunder (gabungan partikel-partikel primer yang disebut *ped* (gumpalan) yang membentuk agregat (bongkah). Porositas adalah proporsiruang pori total (ruang kosong) yang terdapat dalam satuan volume tanah yang dapat ditempati oleh air dan udara, sehingga merupakan indikator kondisi drainase dan aerasi tanah (Hanafiah 2005).

2.12. Tekstur Tanah

Tekstur tanah merupakan relatif fraksi pasir, debu dan liat yang menyusun masa tanah. Tekstur tanah turut menentukan tata air dalam tanah, berupa kecepatan infiltrasi, penetrasi dan kemampuan pengikat air oleh tanah (Mega dkk, 2010). Klas tekstur tanah dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 2.5. Kelas Tekstur Tanah

No	Kelas Tekstur	Sifat Tanah
1	Pasir	Rasa kasar jelas, tidak membentuk bola dan gulungan serta tidak melekat.
2	Pasir berlempung	Rasa kasar sangat jelas, membentuk bola yang mudah sekali hancur serta sedikit sekali melekat.
3	Lempung berpasir	Rasa kasar agak jelas, membentuk bola agak keras, mudah hancur serta melekat.
4	Lempung berdebu	Rasa licin, membentuk bola teguh, pita dan lekat.
5	Lempung	Rasa tidak kasar dan tidak licin, membentuk bola teguh, dapat sedikit digulung dengan permukaan mengkilat.
6	Debu	Rasa licin sekali, membentuk bola teguh, dapat sedikit digulung dengan permukaan mengkilat serta agak melekat.
7	Lempung berliat	Rasa agak kasar, membentuk bola agak teguh (kering), membentuk gulungan bila dipijit, gulungan mudah hancur serta melekat.
8	Lempung liat berpasir	Rasa kasar agak jelas, membentuk bola agak teguh (kering), membentuk gulungan bila dipijit, gulungan mudah hancur serta melekat.
9	Lempung liat berdebu	Rasa jelas licin, membentuk bola teguh, gulungan mengkilat serta melekat.
10	Liat berpasir	Rasa licin agak kasar, membentuk bola, dalam keadaan kering sukar dipijit, mudah digulung serta melekat sekali.

No	Kelas Tekstur	Sifat Tanah
11	Liat berdebu	Rasa agak licin, membentuk bola, dalam keadaan kering sukar dipijit, mudah digulung serta melekat sekali.
12	Liat berat	Rasa berat sekali, membentuk bola baik serta melekat sekali.

Sumber: Mega dkk, 2010

2.13. Jenis Tanah

Menurut Dudal dan Soepraptoharjo (1957) yang telah dimodifikasi dengan pengaruh FAO/ UNESCO jenis tanah dapat diklasifikasikan menurut tekstur maupun warnanya sebagai berikut:

Tabel 2.6. Jenis Tanah

No	Klasifikasi Tanah	Sifat Tanah
1	Organosol	Tanah organik (gambut yang tebalnya lebih dari 50 cm).
2	Litosol	Tanah yang dangkal yang berkembang diatas batuan keras dan belum mengalami perkembangan profil akibat dari erosi. Dijumpai pada daerah dengan lereng yang curam.
3	Rendzina	Tanah dengan epipedon mollik (warna gelap, kandungan bahan organik lebih 1 %, kejenuhan basa lebih 50 %, dibawahnya terdiri dari batuan kapur.
4	Grumusol	Tanah dengan kadar liat lebih dari 30 % bersifat mengembang dan mengkerut. Kalau musim kering tanah keras dan retak-retak karena mengkerut, kalau basah lengket (mengembang).
5	Gleisol	Tanah yang selalu jenuh air sehingga berwarna kelabu atau menunjukkan sifat-

No	Klasifikasi Tanah	Sifat Tanah
		sifat hidromorfik lain.
6	Aluvial	Tanah yang berasal dari endapan alluvial atau koluvial muda dengan perkembangan profil tanah lemah sampai tidak ada. Sifat tanah beragam tergantung dari bahan induk yang diendapkannya serta penyebarannya tidak dipengaruhi oleh ketinggian maupun iklim yang memiliki kandungan pasir kurang dari 60 %
7	Arenosol	Tanah berstruktur kasar dari bahan albik yang terdapat pada kedalaman sekurang-kurangnya 50 cm dari permukaan atau memperlihatkan ciri-ciri mirip horison argilik, kambik atau oksik, tetapi tidak memenuhi syarat karena tekstur terlalu kasar
8	Andosol	Tanah yang berwarna hitam sampai coklat tua dengan kandungan bahan organik tinggi, remah dan porous, licin (smeary) dan reaksi tanah antara 4.5 – 6.5. Horison bawah-permukaan berwarna coklat sampai coklat kekuningan dan kadang dijumpai pada tipis akibat semenatsi silika. Tanah ini dijumpai pada daerah dengan bahan induk vulkanis mulai dari pinggiran pantai sampai 3000 m diatas permukaan laut dengan curah hujan yang tinggi serta suhu rendah pada daerah dataran tinggi
9	Latosol	Tanah yang telah mengalami pelapukan lanjut dengan kandungan bahan organik, mineral primer dan unsur hara rendah, bereaksi masam (pH 4.5 – 5.5), terjadi akumulasi seskuioksida, tanah berwarna merah, coklat kemerahan hingga coklat kekuningan atau kuning. Tanah terdapat mulai dari daerah pantai hingga 900 m dengan curah hujan antara 2500 – 7000 mm per tahun.
10	Brunizem	Seperti Latosol, tetapi kejenuhan basa lebih dari 50 %

No	Klasifikasi Tanah	Sifat Tanah
11	Kambisol	Tanah dengan horison kambik, atau epipedon umbrik, atau mollik. Tidak ada gejala-gejala hidromorfik (pengaruh air).
12	Nitosol	Tanah dengan penumbunan liat (horison argilik). Dari horison penimbunan liat maksimum ke horison-horison dibawahnya, kadar liat kurang dari 20 %. Mempunyai sifat ortosik (Kapasitas Tukar Kation kurang dari 24 me/100 gr liat).
13	Podsolik	Merupakan tanah sangat tercuci yang berwarna abu-abu muda sampai kekuningan pada horison permukaan sedang lapisan bawah berwarna merah atau kuning dengan kadar bahan organik dan kejenuhan basa yang rendah serta reaksi tanah yang masam sampai sangat masam (pH 4.2 – 4.8). Pada horison bawah permukaan terjadi akumulasi liat dengan struktur tanah gumpal dengan permeabilitas rendah. Tanah mempunyai bahan induk batu endapan bersilika, napal, batu pasir dan batu liat. Tanah ini dijumpai pada ketinggian antara 50 – 350 m dengan curah hujan antara 2500 – 3500 mm/tahun
14	Mediteran	Tanah yang berkembang dari bahan induk batu kapur dengan kadar bahan organik rendah, kejenuhan basa sedang sampai tinggi, tekstur berat dengan struktur tanah gumpal, reaksi tanah dari agam masam sampai sedikit alkalis (pH 6.0 – 7.5). Dijumpai pada daerah mulai dari muka laut sampai 400 m pada iklim tropis basah dengan bulan kering nyata dan curah hujan tahunan antara 800 – 2500 mm.
15	Planosol	Tanah dengan horison albik yang terletak di atas horison dengan permeabilitas lambat (misalnya horison argilik atau natrik yang memperlihatkan perubahan tekstur nyata, adanya liat berat atau pragipan, dan memperlihatkan ciri-ciri hidromorfik

No	Klasifikasi Tanah	Sifat Tanah
		sekurang-kurangnya pada sebagian dari horison albik
16	Podsol	Tanah dengan bahan organik cukup tinggi yang terdapat diatas lapisan berpasir yang mengalami pencucian dan berwarna kelabu pucat atau terang. Dibawah horison berpasir terdapat horison iluviasi berwarna coklat tua sampai kemerahan akibat adanya iluviasi bahan organik dengan oksida besi dan alumunium. Tanah ini berkembang dari bahan induk endapan yang mengandung silika , batu pasir atau tufa vulkanik masam. Tanah dijumpai mulai dari permukaan laut sampai 2000 m dengan curah hujan 2500 – 3500 mm/tahun.
17	Oksisol	Tanah dengan pelapukan lanjut dan mempunyai horison oksik, yaitu horison dengan kandungan mineral mudah lapuk rendah, fraksi liat dengan aktifitas rendah, Kapasitas Tukar Kation rendah (kurang dari 16me/100 gr liat). Tanah ini juga mempunyai batas-batas horison yang tidak jelas.

Sumber: FAO dan UNESCO dalam Mega dkk, 2010

Ada beberapa jenis tanah yang dikemukakan oleh Avery, 1980 dan Komisi Kehutanan (Kennedy, 2002) jika dilihat dari sifat fisik dan hidrologinya diantaranya adalah:

1. Tanah Dalam

Jenis tanah ini terdiri atas pasir yang berpori besar yang membantu mempercepat akar mencapai kedalaman tertentu, yang termasuk jenis tanah ini adalah litosol.

2. Tanah Dangkal Batuan

Jenis tanah dimana pada kedalaman kurang dari 1 meter terdapat batuan, namun berdrainase baik. Jika batuan itu berupa batu kapur atau semacam batuan lunak , maka akar masih dapat menembus kedalaman tanah. Termasuk dalam jenis tanah ini adalah rendzina.

3. Tanah Liat Sedang

Jenis tanah ini memiliki kemiripan dengan jenis tanah dalam maupun tanah dangkal tetapi akar tetap dapat berkembang.

4. Tanah Lapisan Kedap

Tanah yang memiliki ukuran partikel besar yang dibatasi lapisan kedap. Tanah ini hanya akan tergenang air pada suatu periode tertentu. Termasuk dalam jenis adalah podsolik.

5. Tanah Dengan Kelembaban Menahan Lapisan Atas

Tanah ini memiliki kandungan air yang cukup sedikit karena tingkat permeabilitas yang rendah sehingga hanya terdapat sedikit akar tanaman yang mampu berkembang untuk mencapai kedalaman tertentu.

6. Tanah Basah Lapisan Bawah

Jenis tanah lempung abu-abu kebiruan yang terjadi di daerah yang memiliki kelembaban tertentu (suhu dingin)

7. Tanah Kaya Organik

Termasuk dalam jenis ini adalah tanah gambut.

2.14. Erosi

Erosi adalah hilangnya atau terkikisnya tanah atau bagian-bagian tanah dari suatu tempat yang diangkut oleh air atau angin ke tempat lain (Arsyad, 1989). Proses erosi bermula dari penghancuran agregat-agregat tanah sebagai akibat pukulan air hujan yang mempunyai energi lebih besar daripada daya tahan tanah. Hancuran partikel-partikel tanah yang menyumbat pori-pori tanah, menyebabkan kapasitas infiltrasi tanah menurun sehingga air mengalir di permukaan tanah sebagai limpasan permukaan (run off). Limpasan permukaan mempunyai energi untuk mengikis dan mengangkut partikel-partikel tanah. Selanjutnya jika tenaga limpasan permukaan sudah tidak mampu lagi mengangkut bahan-bahan hancuran, maka bahan-bahan hancuran tersebut akan diendapkan. Dengan demikian ada tiga proses yang bekerja secara berurutan dalam proses erosi yaitu diawali dengan penghancuran agregat-agregat tanah, pengangkutan dan diakhiri dengan pengendapan.

Dampak erosi adalah penurunan kesuburan tanah dan penurunan kapasitas tanah dalam menyerap dan menyimpan air. Erosi juga mengakibatkan pemadatan tanah akibat pukulan air hujan yang terus menerus sehingga air hujan yang jatuh tidak dapat masuk dan tersimpan di dalam tanah akhirnya terjadi limpasan permukaan. Oleh karena tidak ada atau sangat sedikit air yang tersimpan di dalam tanah sebagai air tanah (*ground water*) maka pada musim kemarau akan berakibat terjadinya kekeringan dan sebaliknya pada musim penghujan akan menyebabkan banjir.

2.14.1. Kelas Kemampuan Lahan

Kelas kemampuan lahan yaitu penilaian faktor-faktor yang menentukan daya guna lahan, kemudian mengelompokkan atau menggolongkan penggunaan lahan sesuai klasifikasi kemampuan lahan utamanya yang berhubungan dengan erosi. Kelas kemampuan lahan dapat ditentukan dalam beberapa kriteria, diantaranya adalah:

Tabel 2.7. Kepekaan Terhadap Erosi

Kelas Tanah	Kelompok Jenis Tanah	Kepekaan Terhadap Erosi
1	Aluvial, gleisol dan planosol	Tidak peka
2	Latosol	Agak peka
3	Andosol, grumusol, podsol	Peka
4	Regosol, litosol, organosol dan rendzina	Sangat peka

Sumber: Agustian, 2007

Tabel 2.8. Klasifikasi Kemiringan Lereng Berdasarkan USSSM

Kelas lereng	Kisaran Lereng (°)	Kisaran Lereng (%)	keterangan
1	< 1	0 - 2	Datar-hampir datar
2	1 - 3	3 - 7	Sangat landai
3	3 - 6	8 - 13	Landai
4	6 - 9	14 - 20	Agak curam
5	9 -25	21 - 55	Curam

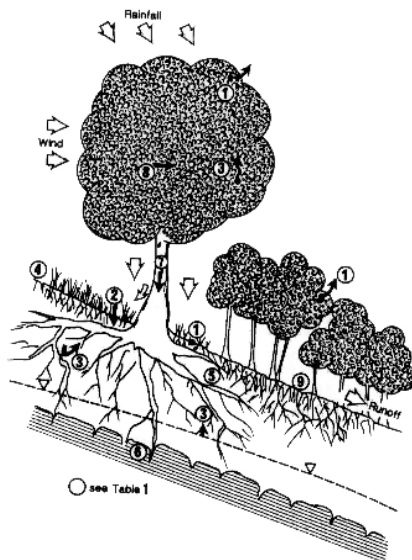
Kelas lereng	Kisaran Lereng (°)	Kisaran Lereng (%)	keterangan
6	25 - 26	56 - 140	Sangat curam
7	> 65	> 140	Terjal

Sumber: Agustian, 2007

2.14.2. Interaksi Antara Lereng dan Vegetasi

Akar tanaman memiliki kemampuan dalam menaikkan kuat geser tanah dan mengikat partikel-partikel tanah sehingga tidak mudah terbawa erosi (Greenway, 1987).

Hujan yang ditangkap oleh pohon (daun/*canopy*) dan kemudian air hujan diteruskan ke permukaan tanah oleh tanaman perdu. Air hujan akan meresap dalam tanah sehingga mengurangi *runoff*. Meresapnya air hujan ke dalam tanah akan mengisi lapisan air tanah (*aquifer*) tanah.



Gambar 2.3. Interaksi Lereng Dengan Vegetasi (Greenway, 1987)

Posisi akar tanaman di lerengan

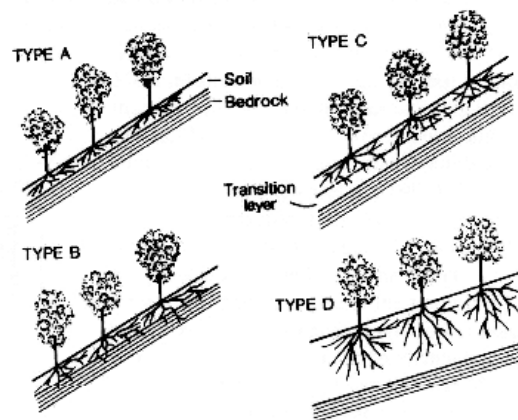
Menurut Sotir (1984), posisi penetrasi akar di bagi menjadi 4 (empat) bagian sebagai berikut:

- Tipe A, akar tanaman hanya mencapai lapisan top soil tanah, sehingga dapat untuk menanggulangi erosi permukaan

- Tipe B, akar tanaman sudah mencapai tanah asli sehingga penjangkaran akar cukup kuat untuk mencegah erosi permukaan dan longsor dangkal.
- Tipe C, akar tanaman menembus dua lapisan tanah, sehingga efek pengankuran akar lebih efektif.
- Tipe D, hampir mirip dengan tipe A tapi beda ketebalan dari top soilnya. Tipe D lebih tebal daripada tipe A

Tipe – tipe tersebut sangat tergantung dari jenis tanaman, jenis akar, jenis lapis – lapisan tanah.

Untuk mengetahui lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Penetrasi Akar Pada Lapisan Tanah (Sotir dkk, 1984)

2.15. Pengaruh Hutan terhadap Hidrologi

Keberadaan hutan berpengaruh pada kualitas dan kuantitas air. Pertama, intersepsi tajuk hutan dapat mengurangi jumlah presipitasi yang mencapai tanah mineral. Kemudian, air yang berada di dalam tanah (*soil moisture*) dilepaskan ke udara melalui sistem perakaran-batang-daun dalam proses transpirasi. Pada akhirnya, sistem perakaran, bahan organik, dan serasah meningkatkan laju infiltrasi dan kapasitas menyimpan air tanah (*ground water*). Kombinasi dari ketiga proses ini dapat mengurangi limpasan permukaan, memperlambat waktu limpasan permukaan, dan memperlambat waktu kenaikan debit sungai pada DAS yang berhutan daripada DAS yang tidak berhutan (Chang 2003).

Peranan hidrologi penutupan tajuk hutan diperbesar oleh bahan-bahan

organik pada lantai hutan dan zone perakaran. Suryatmojo (2006) menyebutkan bahwa peran hutan dalam pengendalian daur air dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Sebagai pengurang atau pembuang cadangan air di bumi melalui proses:
 - a. Evapotranspirasi
 - b. Pemakaian air konsumtif untuk pembentukan jaringan tubuh vegetasi.
2. Menambah titik-titik air di atmosfer.
3. Sebagai penghalang untuk sampainya air di bumi melalui proses intersepsi.
4. Sebagai pengurang atau peredam energi kinetik aliran air lewat:
 - a. Tahanan permukaan dari bagian batang di permukaan.
 - b. Tahanan aliran air permukaan karena adanya serasah di permukaan.
5. Sebagai pendorong ke arah perbaikan kemampuan watak fisik tanah untuk memasukkan air lewat sistem perakaran, penambahan bahan organik ataupun adanya kenaikan kegiatan biologik di dalam tanah

Pohon memberikan kemungkinan terbaik bagi perbaikan sifat tanah. Hal ini berkaitan dengan dihasilkannya serasah yang cukup tinggi oleh pohon. Akibatnya, kandungan bahan organik lantai hutan meningkat. Selain itu, kapasitas infiltrasi hutan pun menjadi lebih tinggi dibandingkan penutupan lahan bukan hutan. Tebalnya lapisan serasah juga meningkatkan aktivitas biologi tanah. Pergantian perakaran pohon (*tree root turnover*) yang amat dinamis dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan ditemukannya pori-pori berukuran besar (*macroporosity*) pada tanah hutan. Akibatnya, tanah hutan memiliki laju perkolasi yang jauh lebih tinggi (Singer & Purwanto 2006).

2.16. Analisis Hidrologi

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi seperti data curah hujan. Data hidrologi dianalisis untuk membuat keputusan dan menarik kesimpulan mengenai fenomena hidrologi berdasarkan

data hidrologi yang dikumpulkan. Untuk studi ini, analisis hidrologi digunakan dalam menentukan debit limpasan yang terjadi.

2.16.1. Perhitungan Curah Hujan Rata-rata

Jika di suatu areal terdapat beberapa stasiun pencatat curah hujan, maka dapat diambil nilai rata-rata untuk mendapatkan nilai curah hujan areal. Ada tiga cara dalam menentukan curah hujan rata-rata pada areal tertentu dari data curah hujan di beberapa stasiun pencatat curah hujan, yaitu sebagai berikut :

2.16.1.1 Metode Rata-Rata Aljabar (Metode *Arithmetic*)

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana, yaitu dengan mengambil nilai rata-rata hitung (arithmetic mean) dari pengukuran hujan di pos penakar-penakar hujan di dalam areal tersebut selama satu periode tertentu. Cara ini akan menghasilkan nilai rata-rata curah hujan yang baik, apabila daerah pengamatannya datar, penempatan alat ukur tersebar merata dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh areal.

Rumus :

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} \quad (2.9)$$

di mana :

\bar{R} = tinggi curah hujan rata-rata (mm).

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ = tinggi curah hujan pada pos penakar 1,2,3,...,n (mm).

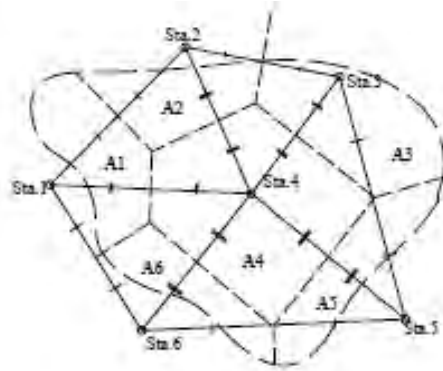
n = banyaknya pos penakar hujan.

2.16.1.2 Metode Poligon *Thiessen*

Metode ini berdasarkan rata-rata timbang (weighted average), dimana masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung di antara dua buah pos penakar.

Syarat-syarat penggunaan Metode Poligon Thiessen, yaitu :

- Stasiun hujan / pos penakar minimal tiga buah dan letak stasiun dapat tidak merata.
- Daerah yang diperhitungkan dibagi menjadi poligon-poligon, dengan stasiun hujan sebagai pusatnya.



Gambar 2.5 Pembagian daerah pengaruh Metode Poligon Thiessen

Cara perhitungan :

Misalnya 1 A adalah luas daerah pengaruh pos penakar 1, 2 A luas daerah pengaruh pos penakar 2, dan seterusnya. Jumlah $1 A + 2 A + \dots + n A = A$ adalah jumlah luas seluruh areal yang dicari nilai curah hujan rata-ratanya. Jika pos penakar 1 menakar tinggi hujan 1 R , pos penakar 2 menakar tinggi hujan 2 R , dan pos penakar n menakar n R , maka:

Rumus :

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + A_3 R_3 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2.10)$$

di mana :

\bar{R} = tinggi curah hujan rata-rata (mm).

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ = tinggi curah hujan pada pos penakar 1, 2, 3, ..., n (mm).

A_i = luas pengaruh dari stasiun pengamatan i (km^2).

2.16.1.3 Metode Isohyet

Pada metode ini, dengan data curah hujan yang ada dibuat garis-garis yang merupakan daerah yang mempunyai curah hujan yang sama (isohyet). Kemudian luas bagian di antara isohyet-isohyet yang berdekatan diukur dan nilai rata-ratanya dihitung sebagai nilai rata-rata timbang dari nilai kontur, kemudian dikalikan dengan masing-masing luasnya. Hasilnya dijumlahkan dan dibagi dengan luas total daerah maka akan didapat curah hujan areal yang dicari.

Syarat-syarat penggunaan Metode Isohyet, yaitu :

- Dapat digunakan di daerah datar maupun pegunungan.
- Stasiun hujan / pos penakar harus banyak dan tersebar merata.
- Bermanfaat untuk hujan yang sangat singkat.
- Perlu ketelitian tinggi dan diperlukan analisis yang berpengalaman.



Gambar 2.6 Pembagian daerah pengaruh Metode Isohyet

Rumus :

$$\bar{R} = \frac{\frac{R_0 + R_1}{2} A_1 + \frac{R_1 + R_2}{2} A_2 + \dots + \frac{R_{n-1} + R_n}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.11)$$

di mana :

\bar{R} = tinggi curah hujan rata-rata (mm).

$R_0, R_1, R_2, \dots, R_n$ = tinggi curah hujan pada isohyet 0,1,2,...,n (mm).

A_1, A_2, \dots, A_n = luas bagian areal yang dibatasi oleh isohyet-isohyet yang bersangkutan (km^2).

2.16.2. Periode Ulang dan Curah Hujan Rancangan

Periode ulang adalah terminologi yang sering digunakan dalam bidang sumberdaya air, yang kadang difahami secara berbeda oleh berbagai pihak. Definisi fundamental dari hidrologi statistik mengenai "periode ulang" (Haan, 1977): "Periode Ulang adalah rerata selang waktu terjadinya suatu kejadian dengan suatu besaran tertentu atau lebih besar."

Curah hujan rancangan adalah curah harian maksimum yang mungkin terjadi dalam periode waktu tertentu misal 2 tahunan, 5 tahunan dan seterusnya. . Karakteristik hujan menunjukkan bahwa hujan yang besar tertentu mempunyai kala ulang tertentu, kala ulang rencana untuk saluran mengikuti standar yang berlaku seperti tabel 2.9.

Tabel 2.9 Kala ulang berdasarkan tipologi kota & luas daerah pengaliran

Tipologi Kota	Catchment Area (Ha)			
	< 10	10 - 100	100 - 500	> 500
Kota Metropolitan	2 thn	2 - 5 thn	5 - 10 thn	10 - 25 thn
Kota Besar	2 thn	2 - 5 thn	2 - 5 thn	5 - 20 thn
Kota Sedang / Kecil	2 thn	2 - 5 thn	2 - 5 thn	5 - 10 thn

Metode analisis periode ulang hujan maksimum dapat dilakukan antara lain dapat dilakukan dengan metode :

- Metoda E.J. Gumbel
- Metoda Log Pearson III
- Metode Iway Kadoya

Perbedaan maksimum yang ada tidak boleh lebih besar dari perbedaan kritis yang diijinkan (diperoleh dari tabel yang tersedia). Untuk itu perlu dilakukan uji The Goodness of Fit, yakni : Uji Chi-Square. Uji ini mengkaji ukuran perbedaan yang terdapat di antara frekuensi yang diobservasi dengan yang diharapkan dan digunakan untuk menguji simpangan secara vertikal, yang ditentukan dengan persamaan :

$$X^2Cr = \sum_{i=1}^n \left[\frac{Efi - Ofi}{Efi} \right]^2 \quad (2.12)$$

di mana :

X^2Cr : harga Chi Kuadrat

Efi : banyaknya frekuensi yang diharapkan

Ofi : frekuensi yang terbaca pada kelas i

n : jumlah data

2.17. Konservasi

Konservasi dalam UU No.7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air adalah suatu upaya memelihara keberadaan serta keberlanjutan keadaan, sifat, dan fungsi sumber daya air agar senantiasa tersedia dalam kuantitas dan kualitas yang memadai untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup, baik pada waktu sekarang maupun yang akan datang. Konservasi sumber daya air ditujukan untuk menjaga kelangsungan keberadaan daya dukung, daya tampung, dan fungsi sumber daya air. Kegiatan ini dapat berupa perlindungan dan pelestarian sumber air, pengawetan air, serta pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air dengan mengacu pada pola pengelolaan sumber daya air yang ditetapkan pada setiap wilayah sungai.

Perlindungan dan pelestarian sumber air ditujukan untuk melindungi dan melestarikan sumber air beserta lingkungan keberadaannya terhadap kerusakan atau gangguan yang disebabkan oleh daya alam, termasuk kekeringan dan yang disebabkan oleh tindakan manusia. Perlindungan dan pelestarian sumber air memiliki beberapa teknik, antara lain secara konservasi vegetatif dan non vegetatif. Teknik-teknik tersebut dapat dilakukan melalui:

1. Pemeliharaan kelangsungan fungsi resapan air dan daerah tangkapan air;
2. Pengisian air pada sumber air;
3. Perlindungan sumber air dalam hubungannya dengan kegiatan pembangunan dan pemanfaatan lahan pada sumber air;
4. Pengaturan daerah sempadan sumber air;

5. Rehabilitasi hutan dan lahan; dan/atau
6. Pelestarian hutan lindung, kawasan suaka alam, dan kawasan pelestarian alam

2.17.1 Konservasi Vegetatif

Konservasi secara vegetatif dapat menjaga keberlangsungan keberadaan tanah dan air melalui sistem perakaran tumbuhan penutup tanah yang meningkatkan kesempatan air untuk dapat diserap tanah. Dengan adanya sistem perakaran dan bahan organik, organisme akan tumbuh secara alami dan menciptakan biopori yang dapat meningkatkan porositas tanah. Hal ini akan meningkatkan infiltrasi tanah lalu air yang terserap akan tertangkap oleh akuifer dan akan dilepaskan secara bertahap dalam bentuk mata air (Kustamar dkk, 2010).

Untuk mengetahui jenis tumbuhan yang sesuai untuk ditanam pada daerah studi, perlu adanya pemilihan jenis tumbuhan yang tepat. Vegetasi tersebut haruslah memiliki kemampuan menahan dan meresapkan air di daerah kawasan resapan air.

1. Bambu

Bambu sebagai salah satu tumbuhan daerah tropis dan subtropik. Termasuk dalam divisi spermatophyta, subdivisi angiospermae, kelas monocotyledonae, ordo Graminales, family graminiae, sub family bamusoideae.

Secara alami bambu dapat tumbuh pada hutan primer maupun hutan sekunder (bekas perladangan dan belukar). Pada umumnya bambu menghendaki tanah subur, sedangkan jenis lainnya dapat tumbuh pada tanah yang kurang subur. Bambu dapat tumbuh pada daerah dengan curah hujan yang cukup, minimal 1000 mm/thn.

2. Jati Putih

Jati putih (*Gmelina arborea*) merupakan salah satu jenis tanaman yang mampu hidup padatanah yang relatif marginal. Jenis ini disebut jati putih karena disamping daunnya bentuknya hampir sama dengan jati, juga berasal dari famili yang sama yaitu Verbenaceae. Pada tanah yang subur, batangnya dapat mencapai ukuran 60-70 cm dengan tinggi mencapai 30 m bercabang banyak hingga membentuk tajuk besar dan rimbun sehingga cocok untuk menekan pertumbuhan alang-alang.

Jati Putih tumbuh pada ketinggian 90-900 m dpl, namun di Srilanka diketemukan juga tumbuh pada ketinggian 1500 m dpl. Tanaman ini tumbuh baik di daerah dengan musim kemarau yang basah maupun kering yaitu pada iklim A sampai D dengan curah hujan 750-4500 mm/tahun pada jenis tanah yang subur.

3. Mahoni

Mahoni tergolong dalam famili Meliaceae dan terdapat dua jenis spesies yang cukup dikenal di Indonesia, yaitu *Swietenia macrophylla* (mahoni berdaun lebar) dan *S. Mahagoni* (mahoni berdaun kecil). Tinggi tanaman mahoni dapat mencapai hingga 40 m dengan diameter batang mencapai 100 cm. Tajuknya berbentuk seperti kubah, daunnya berwarna hijau muda hingga hijau tua dengan panjang 10-30 cm.

Tanaman mahoni tidak memiliki persyaratan tipe tanah yang spesifik, hal ini dikarenakan mahoni secara alami dapat tumbuh pada tipe tanah alluvial, tanah vulkanik, tanah laterik, dan tanah dengan kandungan liat yang tinggi. Namun pertumbuhan mahoni akan baik pada tanah yang subur serta memiliki aerasi yang baik dengan pH berkisar 6,5 sampai 7,5 (Soerianegara dan Lemmens, 1994).

4. Pinus

Pinus (*Pinus merkusii*) termasuk dalam famili Pinaceae. Pohon pinus bertajuk lebat, berbentuk kerucut, bersistem akar tunggang yang cukup dalam dan

kuat. Akar tunggang memiliki ciri khas yaitu pada akar lembaga tumbuh terus menjadi akar pokok yang bercabang-cabang menjadi akar yang lebih kecil, sehingga memberi kekuatan yang lebih besar kepada batang, dan juga memperluas daerah perakaran sehingga dapat menyerap air dan zat-zat makanan lebih banyak. Tegakan pohon Pinus dapat mencapai 45 m dengan diameter hingga 140 cm. Daun pohon pinus berbentuk sangat khas memipih seperti jarum dan berkelompok atau berupa sisik, warnanya bervariasi antara hijau muda hingga hijau tua (Alvitasari, 2013).

Tempat tumbuh terbaik untuk pohon pinus adalah pada ketinggian 200-2000 m dpl, pada tipe iklim A dan B menurut Schmidt-Ferguson, pada curah hujan sekurang-kurangnya 1500-4000 mm/tahun dengan jumlah bulan kering 0-3 bulan. Namun sebuah penelitian terhadap tanaman pinus (*Pinus merkusii*) yang dilakukan oleh Universitas Gadjah Mada, Institut Pertanian Bogor dan Universitas Brawijaya/ Unibraw (Priyono dan Siswamartana, 2002), menyimpulkan bahwa tanaman pinus akan aman jika ditanam pada daerah yang mempunyai curah hujan di atas 2.000 mm/tahun. Pada daerah yang mempunyai curah hujan 1.500-2.000 mm/tahun disarankan agar penanaman pinus dicampur dengan tanaman lain yang mempunyai intersepsi dan evaporasi lebih rendah misalnya Puspa atau Agatis. Sedangkan untuk daerah yang mempunyai curah hujan 1.500 mm/tahun atau kurang disarankan untuk tidak menanam pinus karena akan menimbulkan kekurangan (deficit) air. Jenis ini dapat tumbuh pada berbagai jenis tipe tanah dengan lapisan tanah yang tebal/dalam (> 75 cm), pH tanah asam (4,5-5,5) dan menghendaki tekstur tanah lempung berpasir sampai pasir berlempung.

5. **Sengon**

Tanaman sengon (*Albizia Falcataria*) termasuk dalam famili Mimosaceae, yaitu keluarga petai-petaian. Pohon sengon dapat mencapai ketinggian sekitar 30-45 meter dengan diameter batang sekitar 70-80 cm. Tajuk tanaman sengon berbentuk menyerupai payung dengan rimbun daun yang tidak terlalu lebat. Daun sengon tersusun majemuk menyirip ganda dengan anak daunnya kecil-kecil dan

mudah rontok. Warna daun sengon hijau pupus. Sengon memiliki akar tunggang yang kuat menembus tanah.

Tanaman sengon dapat tumbuh baik pada tanah regosol, aluvial, dan latosol yang bertekstur lempung berpasir atau lempung berdebu dengan pH 6-7. Ketinggian tempat yang optimal antara 0-800 mdpl. Walaupun demikian sengon masih dapat tumbuh sampai ketinggian 1500 mdpl dengan temperatur 18-27°C. Tanaman sengon membutuhkan batas curah hujan minimal 1500 mm/tahun dengan kelembaban sekitar 50-75 %.

Setiap metode konservasi pasti memiliki kelebihan dan kekurangan. Untuk metode konservasi vegetatif memiliki kelebihan dan kekurangan sebagai berikut (Sinukaban, 2003):

Kelebihan:

- Memelihara kestabilan struktur tanah melalui sistem perakaran.
- Mampu menyediakan tambahan hara bagi tanaman.
- Dapat memulihkan tata air suatu DAS.
- Memiliki nilai ekonomis seperti pakan ternak, kayu, buah maupun hasil tanaman lainnya sehingga menambah penghasilan petani.

Kekurangan:

- Tidak semua tanaman dapat berfungsi sebagai tanaman konservasi, sehingga diperlukan kajian terhadap kondisi lahan dan jenis-jenis tanaman.
- Diperlukan waktu yang relatif lama untuk menuai manfaatnya.

2.17.2. Peranan vegetasi terhadap konservasi air dan tanah

- Menurut Dahlan (2004), gmelina mampu meresapkan air tanah sebesar 260 mm/tahun atau dapat menambah simpanan air tanah sebesar 2,60 juta liter per hektarnya dan sengon mampu meresapkan air tanah sebesar 366 mm/tahun atau dapat menambah simpanan air tanah sebesar 3,66 juta liter per hektarnya.
- Sedangkan sebuah penelitian oleh Utthar centre di India pada tahun 2007-2012 dalam upaya konservasi pada lahan bekas penambangan batu di India

melakukan penanaman hutan bambu seluas 106 ha, hasilnya dalam waktu 4 tahun permukaan air bawah tanah meningkat 6,3 m. Senada dengan hal tersebut, Hartanto (2010) menyimpulkan penanaman bambu serta akar rumput menjadikan lapisan tanah paling atas (top soil) terlindungi. Hasil direct shear test tanah mengalami peningkatan kuat gesernya berkisar: 17 - 53%, sedangkan kohesi mengalami peningkatan yaitu sebesar 10% -56%.

- Indrajaya dkk (2008) mendeskripsikan sifat-sifat pinus, yaitu 1) dapat mengurangi jumlah curah hujan netto dengan tingginya nilai intersepsi, 2) memperkuat lereng melalui perakaran yang panjang dan dalam, 3) dapat mengurangi gaya beban oleh air melalui evapotranspirasi yang tinggi, 4) berat pohon pinus yang tidak terlalu berat dan tidak terlalu ringan dapat meningkatkan tegangan kekang pada bidang longsor, menjadikan pinus memiliki potensi untuk mengurangi keren-tanan dan terjadinya tanah longsor. Selain itu, produk utama pinus berupa getah, dapat mempertahankan keberadaan tegakan pohon pinus sebagai pohon pengendali longsor.
- Untuk kemampuan tanaman Jati dan mahoni dalam mengkonservasi air dan tanah menurut penelitian yang dilakukan di hutan jati wilayah Cepu adalah dapat mengurangi adanya aliran permukaan. Hasil dari studi ini menyebutkan bahwa kombinasi hutan jati dan mahoni mampu menghasilkan koefisien limpasan (C) senilai 0,04, sehingga kombinasi ini mampu mereduksi aliran limpasan dan menahan terjadinya erosi (Widjajani, 2010).

2.17.3. Konservasi Non-Vegetatif

Metode konservasi non-vegetatif ini disebut juga *Artificial Recharge* atau daerah imbuhan buatan karena bertujuan untuk meningkatkan jumlah air yang dimasukkan ke dalam akuifer (Walton, 1970). Limpasan/banjir dapat dikonversi dan dikumpulkan agar meresap optimal sehingga meningkatkan ketersediaan air tanah yang berdampak positif pada debit mata air.

Peresapan buatan diharapkan dapat menahan air di musim hujan, air disimpan, sehingga menggantikan input air tanah pada saat musim kemarau. Metode peresapan buatan dapat dimodelkan dalam bentuk kolam atau sumur resapan. Hal ini tergantung pada kondisi lokasi studi. Jika lahan yang tersedia cukup luas dapat menggunakan pilihan embung atau kolam resapan. Sumur resapan sering dipakai bila akuifer yang ingin diisi terletak cukup dalam atau disaat daerahnya kurang luas untuk dibangun kolam resapan (Kodoatie, 2012).

Kelebihan dan kekurangan metode non vegetatif menurut Sinukaban (2003) adalah sebagai berikut:

Kelebihan:

- Praktis, karena manfaat dapat langsung dirasakan begitu pekerjaan selesai dibangun.
- Dengan adanya peraturan dan petunjuk teknis serta tenaga yang terampil, pekerjaan relatif mudah dilakukan.

Kekurangan:

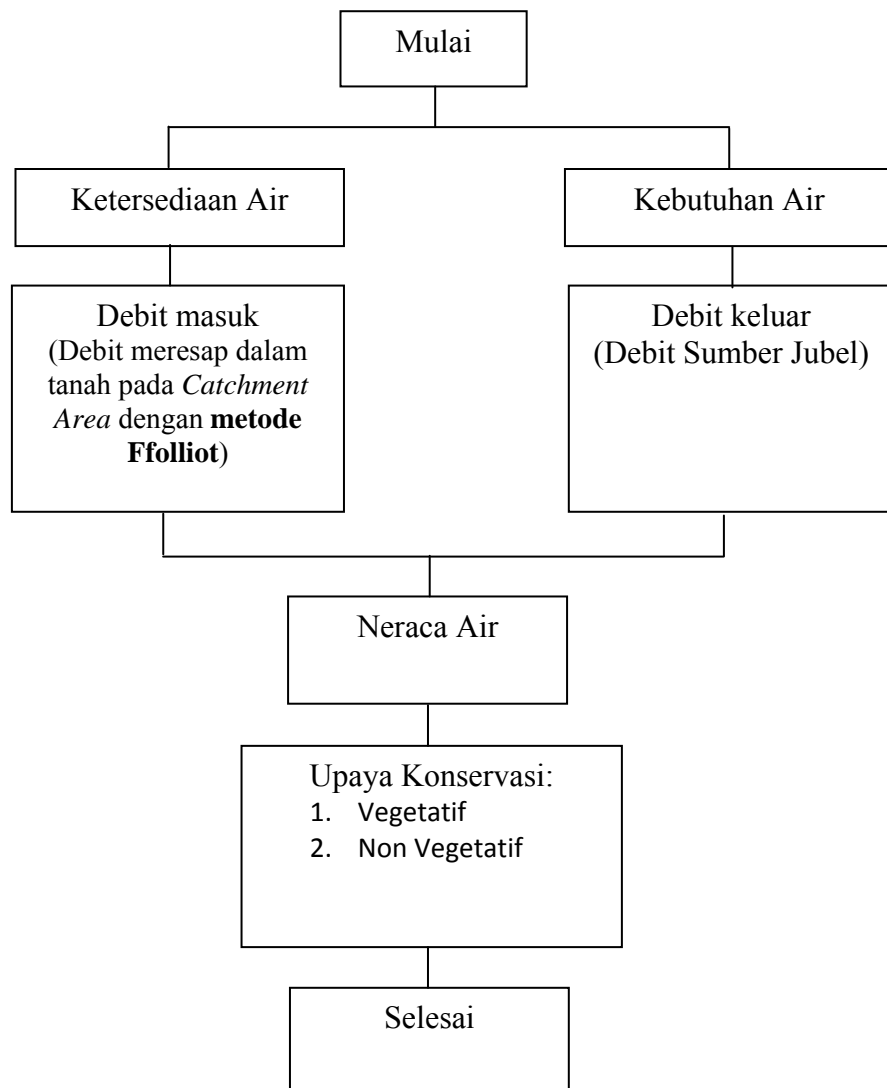
- Memerlukan biaya yang relatif besar.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Bab metodologi ini meliputi tahapan yang akan dilakukan dalam penyelesaian penelitian. Langkah penyusunan penelitian tersusun seperti gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Bagan alir penelitian

3.2. Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data pada umumnya dibedakan menjadi dua berdasarkan sumber data yaitu: data primer dan data sekunder:

3.2.1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dari pengamatan atau peninjauan langsung dilapangan. Data primer juga diperoleh dari wawancara dengan pengelola data hidrologi Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, Perusahaan Daerah Air Minum daerah sekitar, masyarakat, serta pihak terkait yang dapat memberikan informasi tentang upaya konservasi sumber air, kondisi iklim, tanah, sebaran jenis tumbuhan, dan data pendukung lain.

3.2.2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari instansi yang terkait yaitu PDAM Kabupaten Mojokerto, BPDAS Brantas, BBWS Brantas, Dinas Kehutanan Propinsi Jawa Timur, BLH Kabupaten Mojokerto, BMKG Provinsi Jawa Timur, Dinas ESDM Provinsi Jawa Timur, BPS Provinsi Jawa Timur, yang meliputi data:

- ☐ Data curah hujan
- ☐ Data debit Sumber air Jubel
- ☐ Data jumlah penduduk
- ☐ Peta administrasi
- ☐ Peta topografi/kemiringan
- ☐ Peta tata guna lahan
- ☐ Peta status lahan
- ☐ Serta data-data yang dapat mendukung penelitian ini.

3.3. Analisa dan Pembahasan

3.3.1 Perhitungan Neraca Air

Water balance (keseimbangan air) adalah suatu analisa yang menggambarkan pemanfaatan sumber daya air suatu daerah tinjauan yang didasarkan pada perbandingan antara kebutuhan dan ketersediaan air. Keseimbangan air merupakan proses keluar masuk dan storage air dalam suatu ruang tinjau dalam hal ini pada daerah tangkapan air Sumber Jubel.

Faktor-faktor yang digunakan dalam perhitungan dan analisis neraca air adalah ketersediaan air dari aliran air tanah (air yang meresap dalam tanah) dan kebutuhan air dari tiap daerah layanan (kebutuhan air tanah sendiri untuk air bersih berupa debit output Sumber Jubel). Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung neraca air adalah sebagai berikut:

$$Q_{\text{ketersediaan}} = Q_{\text{kebutuhan}} \pm \Delta S$$

Keterangan :

$Q_{\text{ketersediaan}}$ = debit ketersediaan air tanah

$Q_{\text{kebutuhan}}$ = debit kebutuhan air tanah

ΔS = perubahan tampungan

$I = O \pm \Delta S$

I = masukan (inflow)

O = keluaran (outflow)

Untuk mengetahui jumlah air yang meresap dalam tanah ditentukan dengan perhitungan potensi air tanah dengan pendekatan empiris dengan persamaan dari Ffolliot:

$$R = (P - PE) \cdot A_i \cdot (1 - C_{ro})$$

Keterangan:

R = Volume air yang meresap ke dalam tanah (m³)

P = Curah hujan (m/tahun)

PE = Evapotranspirasi Potensial (m/tahun)

A_i = Luasan cathment area (m²)

Cro = Koefisien limpasan permukaan

Perhitungan air yang masuk (*recharge*) ialah air hujan, infiltrasi yang luasannya berupa luasan *catchment area* Sumber Jubel, sedangkan untuk perhitungan air yang keluar didapatkan dari perhitungan evapotranspirasi serta debit air yang keluar dari mata air Sumber Jubel.

3.3.2 Kajian konservasi

Pada kajian konservasi akan dianalisa upaya analisa apa yang sesuai diterapkan di daerah studi. Kesesuaian ini berdasarkan kondisi fisik daerah studi yang meliputi kondisi hidrologi, topografi, tanah, kelerengan, dan kondisi lain yang mempengaruhi.

Konsep dari konservasi ini pada dasarnya adalah memperbesar infiltrasi melalui pengendalian aliran limpasan. Limpasan hujan dan infiltrasi merupakan dua fenomena alami yang bersifat berlawanan. Jika salah satu membesar maka yang lainnya mengecil. Dengan kata lain, mengendalikan debit sama artinya dengan mengendalikan limpasan hujan dan erosi, sedangkan mengendalikan limpasan hujan dan erosi harus dimulai dari upaya memperbesar infiltrasi pada suatu *catchment area*.

Upaya memperbesar infiltrasi sama artinya dengan upaya perbaikan pola pengelolaan lahan di suatu *catchment area*, karena infiltrasi sangat sensitif dipengaruhi oleh tata guna lahan, jenis dan sifat tanah, morfologi lahan, dan rekayasa teknologi di atas lahan.

Selain memperbesar infiltrasi, upaya lain yang dapat dilakukan adalah pengendalian limpasan hujan dalam bentuk resapan buatan seperti sumur atau kolam resapan dan sejenisnya. Bentuk pengendalian limpasan ini pun memberikan dampak positif bagi konservasi, berupa menampung dan mengendalikan limpasan hujan serta memberikan kesempatan yang lebih lama bagi air untuk masuk ke dalam tanah.

Metode konservasi yang akan dibahas adalah metode vegetatif dan non vegetatif. Pada metode vegetatif akan dianalisa tanaman yang sesuai dengan

kondisi lahan di daerah studi. Kemudian dibandingkan tanaman mana yang memiliki kontribusi positif terhadap daerah studi dan tanaman yang mampu menambah ketersediaan air. Pada metode non-vegetatif dianalisa beberapa alternatif metode yang dapat diterapkan pada daerah studi.

a. Metode Vegetatif

Dalam usaha konservasi vegetatif perlu diperhatikan beberapa parameter yang akan menunjang keberhasilan konservasi sumber daya air, diantaranya adalah sebagai berikut:

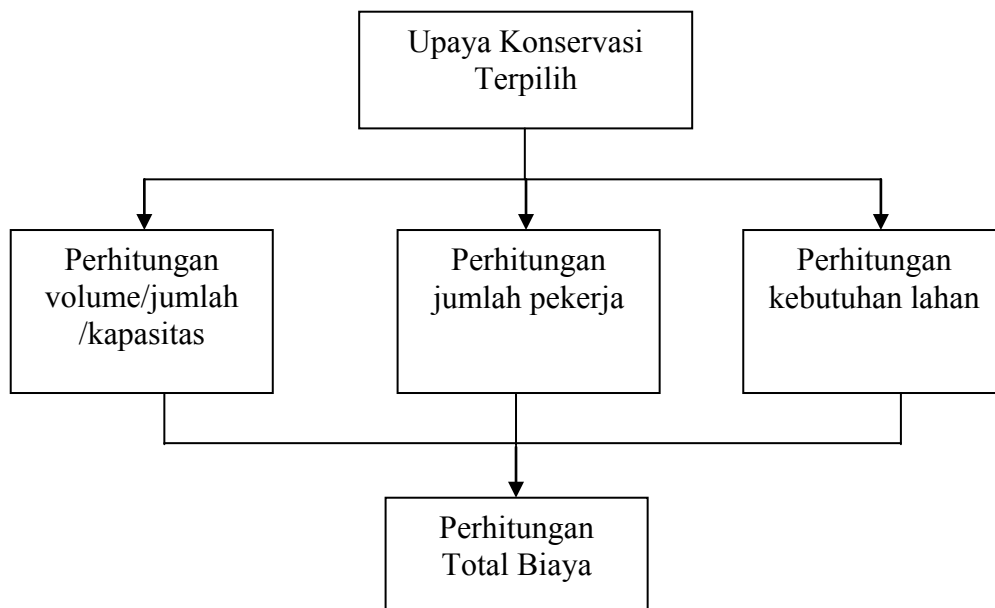
- Vegetasi tanaman yang dapat digunakan memiliki nilai ekonomi, hidrologis dan konservasi
- Jenis vegetasi disesuaikan topografi wilayah, jenis tanah dan iklim

b. Metode Non Vegetatif

Metode konservasi non-vegetatif ini disebut juga Artificial Recharge atau daerah imbuhan buatan karena bertujuan untuk meningkatkan jumlah air yang dimasukkan ke dalam akuifer (Walton, 1970 dalam Nenny dkk, 2012). Peresapan buatan diharapkan dapat menahan air di musim hujan, air disimpan, sehingga menggantikan input air tanah pada saat musim kemarau. Metode peresapan buatan dapat dimodelkan dalam bentuk kolam atau sumur resapan, maupun parit jebakan. Hal ini tergantung pada kondisi lokasi studi.

3.3.3 Perhitungan Aspek Biaya

Perhitungan biaya ini dilakukan setelah ada upaya konservasi yang terpilih berdasarkan kondisi lokasi studi. Perhitungan meliputi biaya pembangunan yang berdasarkan volume pekerjaan konservasi, jumlah pekerja.



Gambar 3.2 Bagan alir perhitungan biaya

3.4. Perhitungan penambahan ketersediaan air

Meliputi perhitungan penambahan volume air tanah di kawasan Sumber Jubel dengan adanya upaya konservasi. Penambahan dihitung berdasarkan penambahan infiltrasi dan tampungan yang terjadi akibat adanya konservasi.

3.5. Kesimpulan dan Saran

Yaitu menentukan jawaban atas rumusan permasalahan yang telah ditetapkan sebelumnya berdasarkan hasil dari proses analisa data-data yang ada. Dalam penarikan kesimpulan ini, diharapkan dapat tercapai tujuan akhir penelitian. Saran merupakan masukan yang menunjang tercapainya tujuan akhir dan manfaat penelitian.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4 GAMBARAN UMUM WILAYAH

4.1. Batasan dan luas wilayah

Sumber Jubel merupakan suatu mata air yang digunakan sebagai salah satu sumber air bersih untuk PDAM Kabupaten Mojokerto. Debit aliran dan debit terpasangnya adalah sama yaitu 18,4 liter/detik.

Daerah tangkapan air Sumber Jubel terletak di Kecamatan Pacet Kabupaten Mojokerto. Ketinggiannya terletak pada 735 meter di atas permukaan laut sampai dengan 1800 meter di atas permukaan laut, yang meliputi beberapa desa yaitu desa Claket, Nogosari, Cembor, dan Sajen dengan luas total 304 ha.

Tabel 4.1 Luas Catchment Area Sumber Jubel

Desa	Luas (Ha)	Persentase (%)
Claket	147	48,35
Cembor	112	36,84
Sajen	42	13,82
Nogosari	3	0,99
Total	304	100

Sumber: Hasil Analisa

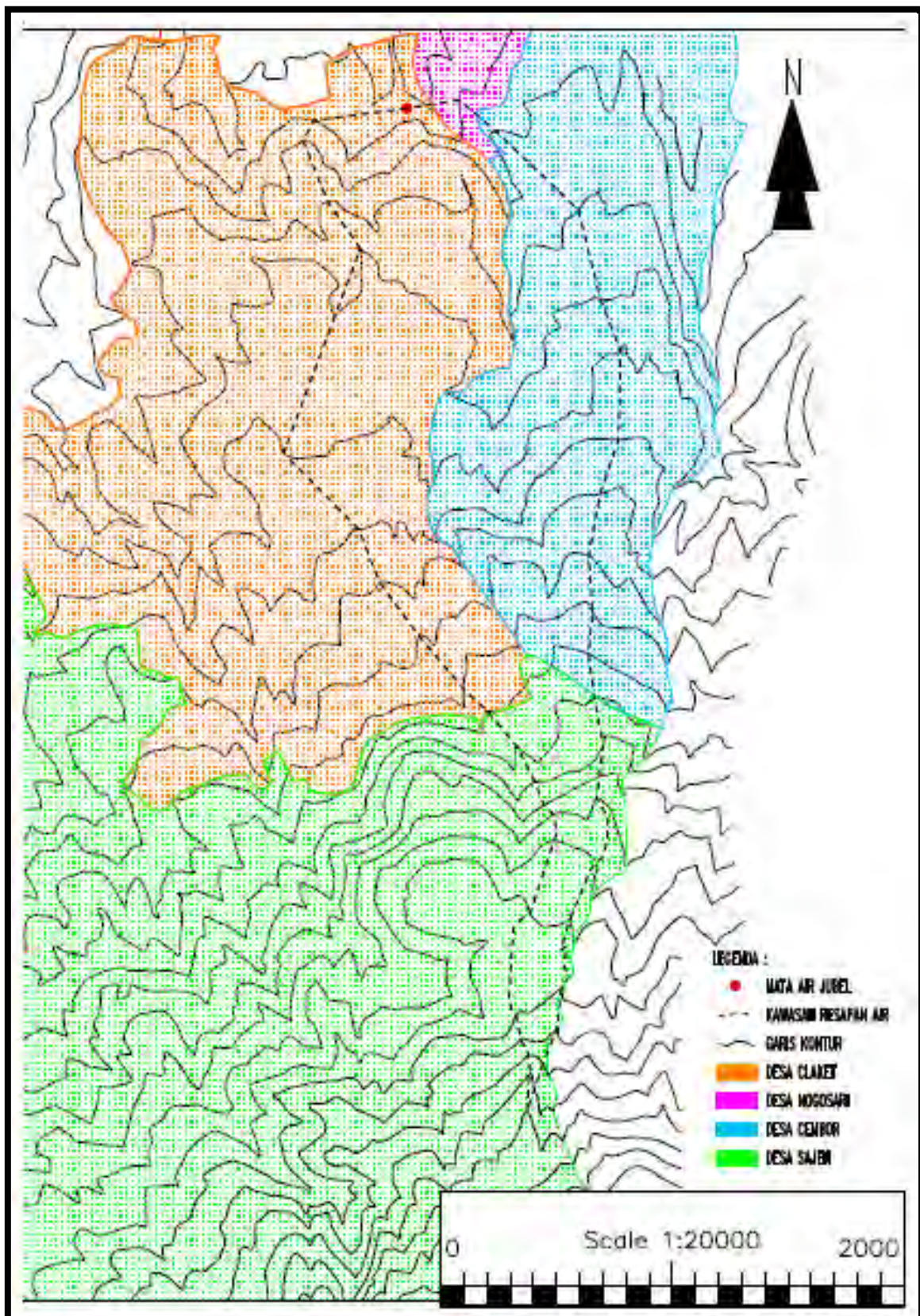
Sebagai gambaran wilayah *catchment area* Sumber Jubel, dapat dilihat pada Gambar 4.1 dengan batasan wilayah:

Utara : Desa Claket, Desa Nogosari

Barat : Desa Claket, Desa Sajen.

Timur : Desa Cembor, Desa Sajen.

Selatan: Desa Sajen.



Gambar 4.1 Peta daerah tangkapan air Sumber Jubel

4.2. Keadaan Iklim

Menurut klasifikasi iklim Schmid dan Ferguson, Kecamatan Pacet termasuk tipe iklim C dan D dengan curah hujan rata-rata dari tahun 2000-2012 sebesar 2.315 mm/tahun (BBWS Brantas, 2013).

Tabel 4.2 Pembagian iklim menurut Schimdt-Ferguson

Tipe Iklim	Nilai Q (%)	Keadaan Iklim
A	< 14,3	Daerah sangat basah
B	14,3 - 33,3	Daerah basah
C	33,3 – 60	Daerah agak basah
D	60 – 100	Daerah sedang
E	100 – 167	Daerah agak kering
F	167 – 300	Daerah kering
G	300 – 700	Daerah sangat kering
H	>700	Daerah ekstrim kering

Sumber : BMKG Juanda, 2011

Tabel 4.3 Curah Hujan Kecamatan Pacet

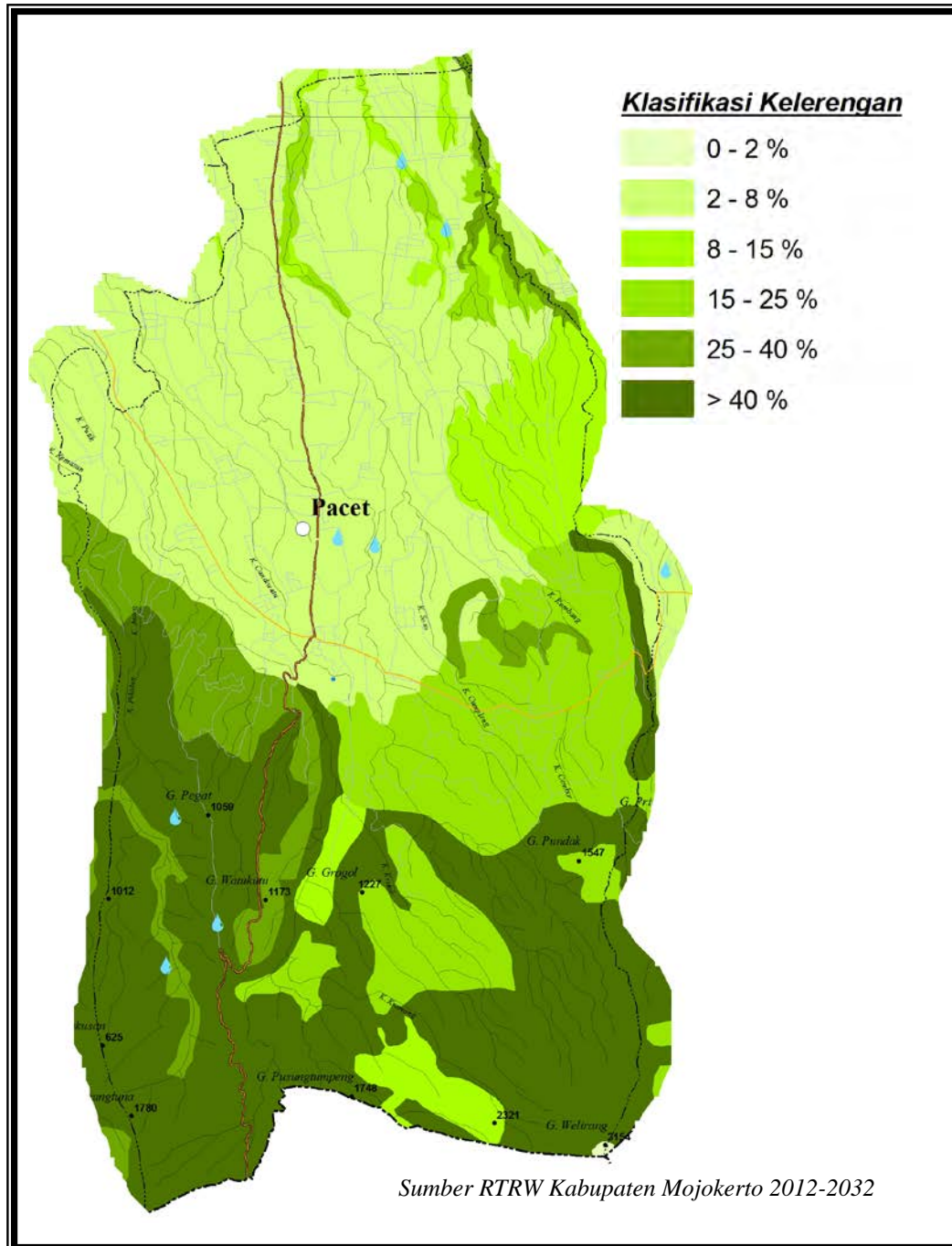
Tahun	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Curah Hujan (mm/tahun)	2.385	1.847	2.144	2.152	2.415	2.265	2.313	2.393

Tabel 4.3 Curah Hujan Kecamatan Pacet (lanjutan)

Tahun	2008	2009	2010	2011	2012
Curah Hujan (mm/tahun)	2.192	1.649	3.746	2.515	2.081

4.3. Keadaan Topografi

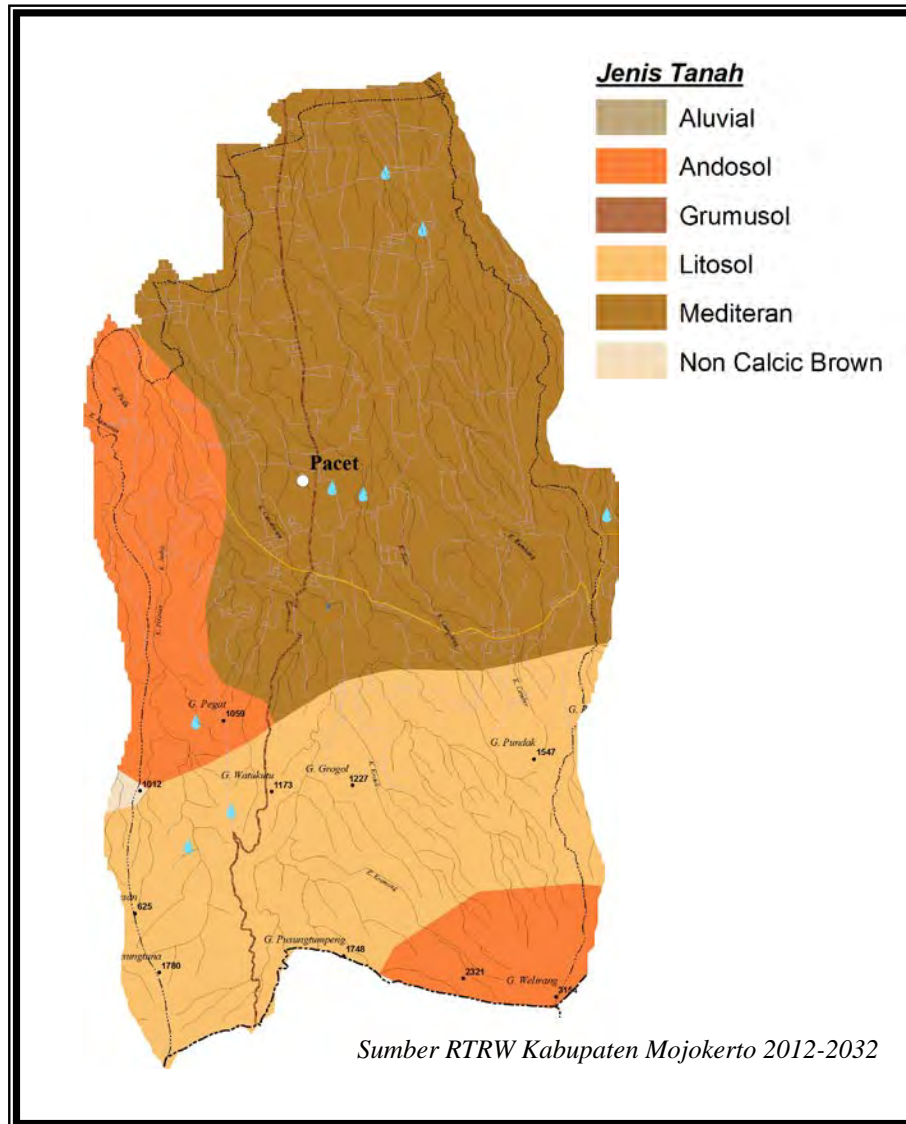
Daerah tangkapan Sumber Jubel terletak di kaki Gunung Welirang dengan kelerengannya 15-25 % dan memiliki jenis tanah mediteran. Beberapa tegakan tumbuhan yang ditemui yaitu pinus, mahoni, sengon, bamboo, dan jati.



Gambar 4.2 Peta kelerengannya Kecamatan Pacet

4.4. Kondisi Tanah

Daerah tangkapan Sumber Jubel memiliki jenis tanah mediteran. Tanah mediteran memiliki nama lain tanah alfisol, incepticol, dan livisol.

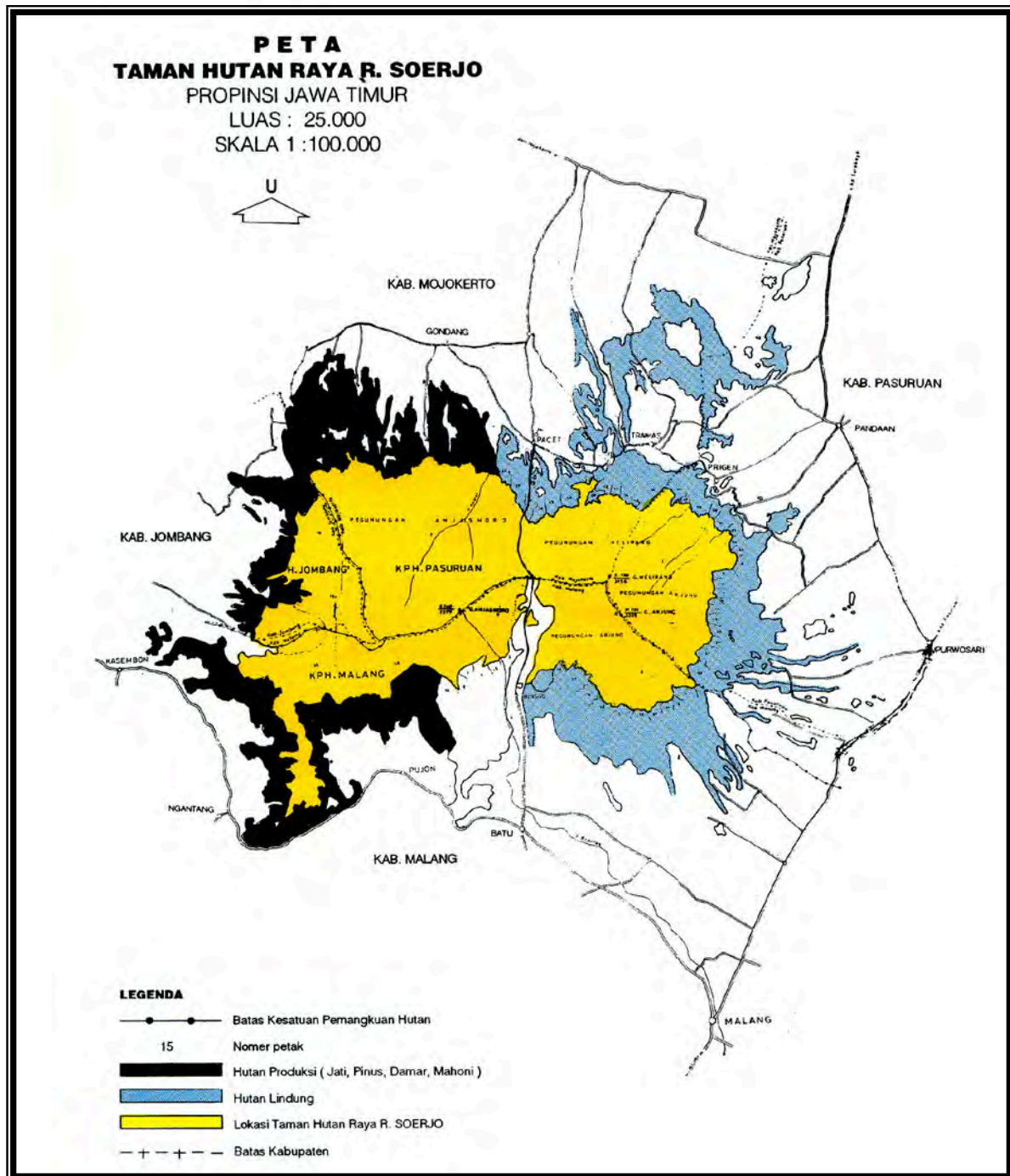


Gambar 4.3 Peta Jenis Tanah Kecamatan Pacet

Pada system klasifikasi taksonomi, tanah mediteran tergolong jenis tanah luvisol dan alfisol/inceptisol. Tanah mediteran pada umumnya bertekstur geluh keliatan (silt loam), tekstur tanah mengandung 50% atau lebih liat, dan 7 sampai 20% lempung, atau 50 s ampai 80% liat dan kurang dari 12% lempung (Suripin.2001).

4.5. Status Lahan

Lahan hutan di sekitar Sumber Jubel saai ini merupakan hutan lindung yang dikelola oleh Perhutani Resort Pemangku Hutan (RPH) Kemloko Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BKPH) Pacet, Kesatuan Pemangku Hutan (KPH) Pasuruan, Perum Perhutani Unit II Jawa Timur.



Gambar 4.4. Peta TAHURA R. Soerjo yang memperlihatkan status lahan di sekitar lokasi studi.

BAB 5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisis *Water Balance* (Neraca Air)

Water balance (keseimbangan air) adalah suatu analisa yang menggambarkan pemanfaatan sumber daya air suatu daerah tinjauan yang didasarkan pada perbandingan antara kebutuhan dan ketersediaan air. Keseimbangan air merupakan proses keluar masuk dan storage air dalam suatu ruang tinjau dalam hal ini pada daerah tangkapan air Sumber Jubel.

Faktor-faktor yang digunakan dalam perhitungan dan analisis neraca air adalah ketersediaan air dari aliran air tanah (ketersediaan air tanah) dan kebutuhan air dari tiap daerah layanan (kebutuhan air tanah sendiri untuk air bersih berupa debit output Sumber Jubel). Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung neraca air adalah sebagai berikut:

$$Q_{\text{ketersediaan}} = Q_{\text{kebutuhan}} \pm \Delta S$$

Keterangan :

$Q_{\text{ketersediaan}}$ = debit ketersediaan air tanah

$Q_{\text{kebutuhan}}$ = debit kebutuhan air tanah

ΔS = perubahan tampungan

ΔS positif (+) → surplus

ΔS negatif (-) → defisit

Untuk mengetahui jumlah air yang meresap dalam tanah ditentukan dengan perhitungan potensi air tanah dengan pendekatan empiris dengan persamaan dari Ffolliot:

$$R = (P - PE) \cdot A_i \cdot (1 - C_{ro})$$

Keterangan:

R = Volume air yang meresap ke dalam tanah (m^3)

P = Curah hujan (m/tahun)

PE = Evapotranspirasi Potensial (m/tahun)

A_i = Luasan cathment area (m^2)

C_{ro} = Koefisien limpasan permukaan

Perhitungan air yang masuk (*recharge*) ialah air hujan, infiltrasi yang luasannya berupa luasan *catchment area* Sumber Jubel, sedangkan untuk perhitungan air yang keluar didapatkan dari perhitungan evapotranspirasi serta debit air yang keluar dari mata air Sumber Jubel.

5.1.1. Data Curah Hujan dan Suhu

Data curah hujan dikumpulkan guna mengetahui besar curah hujan diperoleh dari pos penakar hujan Stasiun Pengamat Pacet No. 186 dengan data yang dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Curah Hujan Stasiun Pengamat Pacet No. 186 Tahun 2000-2012

TAHUN	B U L A N												Total (mm/tahun)
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES	
2000	658	374	347	370	25	0	100	0	0	126	213	172	2385
2001	411	440	419	209	0	0	0	0	0	120	175	73	1847
2002	572	443	304	186	69	0	0	0	0	0	75	495	2144
2003	427	561	429	77	156	44	0	0	5	17	258	178	2152
2004	392	499	711	106	119	21	40	0	0	0	191	336	2415
2005	300	263	435	359	89	111	7	29	0	104	164	404	2265
2006	551	514	324	152	259	27	0	0	0	0	24	462	2313
2007	94	615	675	311	38	31	19	0	13	44	100	453	2393
2008	341	598	516	219	81	20	0	0	0	124	133	160	2192
2009	404	415	370	104	256	100	0	0	0	0	0	0	1649
2010	642	619	491	580	230	43	25	27	78	202	179	630	3746
2011	554	359	258	370	246	39	63	-	-	-	281	345	2515
2012	481	447	303	183	45	60	3	-	-	1	154	404	2081

Sumber : BBWS Brantas, 2013

Kecamatan Pacet belum memiliki stasiun klimatologi untuk mencatat data-data terkait iklim di daerah tersebut, sehingga digunakan data suhu dari stasiun klimatologi terdekat yaitu Stasiun Klimatologi Karangploso yang terletak di Kabupaten Malang dengan data yang dapat dilihat pada tabel 5.2.

Data curah hujan dan suhu ini sangat dibutuhkan untuk menghitung besarnya evapotranspirasi yang terjadi. Metode analisis evapotranspirasi yang digunakan adalah metode thornwaite.

Tabel 5.2. Data Suhu Stasiun Klimatologi Karangploso

TAHUN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2000	23,6	23,6	23,8	23,6	23,7	22,6	21,8	22,2	23,6	23,7	23,8	23,7
2001	23,5	23,5	23,6	23,8	23,4	23,1	22,3	21,9	25,2	23,9	24,2	23,4
2002	23,6	23,9	23,7	23,9	23,8	22,7	22,2	21,5	22,7	24,7	25,0	24,4
2003	23,7	23,8	23,8	24,2	23,6	22,9	21,0	22,1	23,2	24,0	24,2	23,4
2004	23,7	23,8	23,2	24,3	23,7	22,5	22,5	21,9	23,2	24,3	24,7	23,8
2005	23,8	24,0	24,0	23,8	23,6	23,6	22,5	22,4	23,6	24,2	24,0	23,2
2006	23,9	23,5	23,6	23,8	23,5	22,1	21,8	21,5	22,3	24,2	25,4	24,8
2007	23,8	23,7	23,5	23,8	23,8	23,1	22,2	21,7	22,7	24,4	23,9	23,6
2008	23,6	23,6	23,1	23,6	23,1	22,4	21,5	22,1	23,2	24,7	24,2	23,3
2009	23,5	23,5	23,7	24,3	23,9	23,0	22,1	22,3	23,3	24,4	24,9	24,3
2010	23,8	24,0	24,3	23,9	24,5	23,7	23,2	23,4	23,8	24,1	24,4	23,8
2011	24,1	23,9	23,3	23,4	23,5	22,1	22,0	21,9	22,8	24,3	24,0	24,0
2012	23,5	23,5	23,8	23,8	23,7	22,7	21,6	21,7	23,0	24,6	24,7	23,8

Keterangan : satuan dalam °C

Sumber: BMKG Karangploso, 2013

5.1.2. Perbedaan Suhu Pada Stasiun Penakaran Hujan

Konversi suhu perlu dilakukan pada lokasi stasiun hujan penelitian terhadap stasiun klimatologi Karangploso untuk mendapat suhu yang mendekati kenyataan. Dalam pendugaan suhu pada stasiun hujan terdekat dilakukan dengan mempertimbangkan faktor ketinggian tempat. Semakin tinggi letak suatu kawasan, maka berpengaruh terhadap kelembaban suhu setempat. Untuk mengetahui suhu sesungguhnya di suatu kawasan dilakukan perhitungan menggunakan metode Mock (1973), dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta t = 0,006 (z_1 - z_2) \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dengan :

Δt = perbedaan suhu antara stasiun pengukuran dengan stasiun
pengukuran yang dianalisa ($^\circ\text{C}$)

z_1 = elevasi stasiun pengukuran suhu (m)

z_2 = elevasi stasiun hujan yang dianalisa (m)

Stasiun klimatologi Karangploso menjadi acuan dalam menentukan perbedaan suhu dengan ketinggian 575 m diatas permukaan laut (dpl). Berikut ini merupakan perhitungan perbedaan suhu (Δt) pada stasiun hujan Pacet:

Perhitungan:

- Ketinggian stasiun klimatologi Karangploso = 575 m
- Ketinggian stasiun hujan Pacet = 670 m, maka diperoleh perbedaan suhu antara stasiun klimatologi Karangploso dan Pacet adalah sebagai berikut:
 - Δt Pacet = $0,006 (575 - 670)$
= $-0,570 \text{ } ^\circ\text{C}$

Tabel 5.3. Perbedaan Suhu

NO	POS HUJAN	Z (m)	Δt ($^\circ\text{C}$)
	Karangploso	575	0,000
	Pacet	670	-0,570

Sumber: Hasil Perhitungan

5.1.3. Pendugaan Suhu Pada Stasiun Penakaran Hujan Pacet

Dari hasil perhitungan perbedaan suhu pada masing-masing stasiun hujan, maka dapat dihitung suhu yang mendekati kenyataan di lapangan dengan persamaan sebagai berikut:

Suhu Real = Suhu stasiun klimatologi + perbedaan suhu (Δt).

Tabel 5.4 Data Pendugaan Suhu Pada Stasiun Penakaran Hujan Pacet

Elevasi = 670 mdpl

Δt = -0,570 °C

TAHUN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2000	23,0	23,0	23,2	23,0	23,1	22,0	21,2	21,6	23,0	23,1	23,2	23,1
2001	22,9	22,9	23,0	23,2	22,8	22,5	21,7	21,3	24,6	23,3	23,6	22,8
2002	23,0	23,3	23,1	23,3	23,2	22,1	21,6	20,9	22,1	24,1	24,4	23,8
2003	23,1	23,2	23,2	23,6	23,0	22,3	20,4	21,5	22,6	23,4	23,6	22,8
2004	23,1	23,2	22,6	23,7	23,1	21,9	21,9	21,3	22,6	23,7	24,1	23,2
2005	23,2	23,4	23,4	23,2	23,0	23,0	21,9	21,8	23,0	23,6	23,4	22,6
2006	23,3	22,9	23,0	23,2	22,9	21,5	21,2	20,9	21,7	23,6	24,8	24,2
2007	23,2	23,1	22,9	23,2	23,2	22,5	21,6	21,1	22,1	23,8	23,3	23,0
2008	23,0	23,0	22,5	23,0	22,5	21,8	20,9	21,5	22,6	24,1	23,6	22,7
2009	22,9	22,9	23,1	23,7	23,3	22,4	21,5	21,7	22,7	23,8	24,3	23,7
2010	23,2	23,4	23,8	23,3	24,0	23,2	22,6	22,8	23,2	23,5	23,8	23,2
2011	23,5	23,3	22,8	22,8	23,0	21,6	21,4	21,3	22,3	23,7	23,5	23,4
2012	23,0	23,0	23,2	23,2	23,1	22,1	21,1	21,1	22,4	24,0	24,1	23,3

Sumber: Hasil Perhitungan

5.1.4 Evapotranspirasi Potensial (PE)

Evapotranspirasi potensial adalah nilai yang menggambarkan kebutuhan lingkungan, varian vegetasi, atau kawasan pertanian untuk melakukan evapotranspirasi. Dalam penelitian ini digunakan metode Thornthwaite dimana nilai evapotranspirasi potensial (PE) dipengaruhi oleh temperatur udara, intensitas penyinaran matahari dan letak koordinat. Metode ini mengusulkan perhitungan evapotranspirasi potensial dari data suhu udara rata-rata bulanan, standar bulan 30 hari dan jam peninarannya 12 jam. Adapun persamaan adalah sebagai berikut:

$$PE_x = 16 \times \left(\frac{10 T_m}{I} \right)^a$$

$$PE = f \times PE_x$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1,514}$$

$$a = (6,75 \cdot 10^{-7}) \cdot I^3 - (7,71 \cdot 10^{-5}) \cdot I^2 + (1,792 \cdot 10^{-2}) \cdot I + 0,49239$$

Dengan :

T_m = suhu udara rata-rata bulanan ($^{\circ}\text{C}$)

f = Koefisien penyesuaian hubungan antara jumlah jam dan hari terang berdasarkan lokasi

I = indeks panas tahunan

PE_x = Evapotranspirasi potensial yang belum disesuaikan faktor f (mm/bulan)

PE = Evapotranspirasi potensial (mm/bulan)

5.1.5. Indeks Panas Tahunan (I)

Nilai indeks panas tahunan (I) stasiun hujan dapat diketahui dengan menentukan terlebih dahulu indeks panas bulanan yang kemudian dijumlahkan dalam setahun. Berikut ini merupakan perhitungan nilai I stasiun hujan Pacet. berikut:

$$I = \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1,514}$$

Misalkan dilakukan perhitungan pada tahun 2000, maka diperoleh nilai indeks bulanan (i) sebagai berikut:

- Januari tahun 2000

$$I = \left(\frac{23}{5} \right)^{1,514}$$

$$I = 10,1$$

Untuk memperoleh nilai indeks panas tahunan (I) dilakukan komulatif nilai indeks bulanan per tahunnya. Berikut ini merupakan penjelasan lebih lanjut mengenai nilai indeks panas bulanan pada Stasiun Hujan Pacet seperti terlihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Nilai indeks panas bulanan pada Stasiun Hujan Pacet

TAHUN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN
2000	10,1	10,1	10,2	10,1	10,2	9,4

lanjutan

TAHUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	I
2000	8,9	9,2	10,1	10,2	10,2	10,2	118,7

Sumber: Hasil Perhitungan

Langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai a sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 a &= (6,75 \cdot 10^{-7}) \cdot I^3 - (7,71 \cdot 10^{-5}) \cdot I^2 + (1,792 \cdot 10^{-2}) \cdot I + 0,49239 \\
 &= (6,75 \cdot 10^{-7}) \cdot 118,7^3 - (7,71 \cdot 10^{-5}) \cdot 118,7^2 + (1,792 \cdot 10^{-2}) \cdot 118,7 + 0,49239 \\
 &= 2,7
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan hasil selengkapnya analisa indeks panas tahunan (I) dan nilai a setiap tahunnya

Tabel 5.6 Nilai Indeks Panas Tahunan (I) dan Nilai a Stasiun Hujan Pacet

TAHUN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	I	a
2000	10,1	10,1	10,2	10,1	10,2	9,4	8,9	9,2	10,1	10,2	10,2	10,2	118,7	2,7
2001	10,0	10,0	10,1	10,2	10,0	9,8	9,2	9,0	11,2	10,3	10,5	10,0	120,1	2,7
2002	10,1	10,3	10,2	10,3	10,2	9,5	9,2	8,7	9,5	10,8	11,0	10,6	120,3	2,7
2003	10,2	10,2	10,2	10,5	10,1	9,6	8,4	9,1	9,8	10,4	10,5	10,0	118,9	2,7

2004	10,2	10,2	9,8	10,6	10,2	9,4	9,4	9,0	9,8	10,6	10,8	10,2	120,0	2,7
2005	10,2	10,4	10,4	10,2	10,1	10,1	9,4	9,3	10,1	10,5	10,4	9,8	120,7	2,7
2006	10,3	10,0	10,1	10,2	10,0	9,1	8,9	8,7	9,2	10,5	11,3	10,9	119,2	2,7
2007	10,2	10,2	10,0	10,2	10,2	9,8	9,2	8,9	9,5	10,6	10,3	10,1	119,0	2,7
2008	10,1	10,1	9,8	10,1	9,8	9,3	8,7	9,1	9,8	10,8	10,5	9,9	117,9	2,6
2009	10,0	10,0	10,2	10,6	10,3	9,7	9,1	9,2	9,9	10,6	11,0	10,6	121,0	2,7
2010	10,2	10,3	10,6	10,2	10,7	10,2	9,8	10,0	10,2	10,4	10,6	10,2	123,2	2,8
2011	10,4	10,3	9,9	10,0	10,0	9,1	9,0	9,0	9,6	10,6	10,4	10,4	118,4	2,7
2012	10,0	10,0	10,2	10,2	10,1	9,5	8,8	8,9	9,7	10,8	10,8	10,2	119,0	2,7

Sumber: Hasil Perhitungan

5.1.6. Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur Dan Bulan (PE_x)

Sebelum mendapatkan nilai Evapotranspirasi Potensial (PE) yang sesuai kondisi sesungguhnya di suatu kawasan tertentu, maka nilai PE harus di konversikan terlebih dahulu terhadap nilai suhu udara rata-rata bulanan (T_m), indeks panas tahunan (I) dan juga nilai a . Untuk memperoleh PE_x tersebut dapat menggunakan persamaan sebagai berikut ini:

$$PE_x = 16 \times \left(\frac{10 T_m}{I} \right)^a$$

Perhitungan PE yang belum disesuaikan garis bujur dan bulan (PE_x) stasiun hujan dapat dianalisis sebagai berikut:

Dengan berpedoman pada pendugaan suhu (Tabel 5.4), nilai indeks panas tahunan (Tabel 5.5) dan nilai a stasiun hujan Pacet, maka perhitungan nilai PE_x dapat diperoleh sebagai berikut:

Januari 2000

$$PE_x = 16 \times \left(\frac{10 \times 23}{118,7} \right)^{2,7}$$

$$PE_x = 93,4 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan tersebut diketahui bahwa nilai evapotranspirasi potensial sebelum disesuaikan garis bujur dan bulan (PE_x) pada bulan Januari tahun 2000 adalah sebesar 93,4 mm. Nilai PE_x tersebut belum merupakan nilai evapotranspirasi potensial sesungguhnya di suatu kawasan. Nilai ini nantinya akan dikonversikan dengan koefisien penyesuaian menurut bujur dan bulan, sehingga

akan diperoleh nilai evapotranspirasi potensial yang mendekati sesungguhnya pada suatu kawasan.

Untuk perhitungan selanjutnya nilai PE_x pada stasiun hujan Pacet dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur (f) Stasiun Hujan Pacet (mm)

TAHUN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2000	93,4	93,4	95,6	93,4	94,5	83,0	75,2	79,0	93,4	94,5	95,6	94,5
2001	91,8	91,8	92,9	95,1	90,8	87,6	79,4	75,5	111,4	96,2	99,6	90,8
2002	92,8	96,1	93,9	96,1	95,0	83,3	78,3	71,6	83,3	105,3	108,9	101,8
2003	94,4	95,5	95,5	100,0	93,4	86,0	67,8	78,0	89,1	97,7	100,0	91,2
2004	94,0	95,2	88,7	100,8	94,0	81,5	81,5	75,6	88,7	100,8	105,4	95,2
2005	94,9	97,1	97,1	94,9	92,7	92,7	81,2	80,2	92,7	99,4	97,1	88,4
2006	96,5	92,1	93,2	95,4	92,1	77,8	75,0	72,2	79,8	99,9	114,0	106,8
2007	95,5	94,4	92,2	95,5	95,5	88,0	78,9	74,1	83,9	102,2	96,6	93,3
2008	93,7	93,7	88,4	93,7	88,4	81,4	72,8	78,5	89,5	106,0	100,3	90,5
2009	91,5	91,5	93,7	100,5	95,9	86,1	77,0	79,0	89,3	101,6	107,5	100,5
2010	94,1	95,7	100,1	94,7	102,7	93,4	87,2	89,2	93,5	96,9	101,1	94,1
2011	98,8	96,9	90,7	91,5	92,8	78,6	77,0	76,2	85,4	101,1	98,4	97,6
2012	92,5	92,5	95,1	95,4	94,0	83,9	73,6	73,9	87,1	104,5	105,9	95,8

Sumber: Hasil Perhitungan

5.1.7. Koefisien Penyesuaian Bujur dan Bulan Setiap Stasiun

Koordinat Stasiun Penakar Hujan Pacet adalah:

Tabel 5.8 Koordinat Stasiun Hujan

POS HUJAN	Garis Bujur (X)	Garis Lintang (Y)	Elevasi
Pacet	112,5400667	-7,662866667	670 mdpl

Sumber : BBWS Brantas, 2013

Untuk menentukan koefisien penyesuaian bujur dan bulan setiap stasiun penakar hujan, maka diperlukan tabel koefisien penyesuaian.

Tabel 5.9 Koefisien Penyesuaian Menurut Bujur dan Bulan

Bujur / Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sept	Okt	Nov	Des
50	0,74	0,78	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,25	1,06	0,92	0,76	0,7
49	0,75	0,79	1,02	1,14	1,32	1,34	1,35	1,24	1,05	0,93	0,76	0,71
48	0,76	0,8	1,02	1,14	1,31	1,33	1,34	1,23	1,05	0,93	0,77	0,72
47	0,77	0,8	1,02	1,14	1,3	1,32	1,33	1,22	1,04	0,93	0,78	0,73
46	0,79	0,81	1,02	1,13	1,29	1,31	1,32	1,22	1,04	0,94	0,79	0,74
45	0,8	0,81	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04	0,94	0,79	0,75
44	0,81	0,82	1,02	1,13	1,27	1,29	1,3	1,2	1,04	0,95	0,8	0,76
43	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,2	1,04	0,95	0,81	0,77
42	0,82	0,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	0,95	0,82	0,79
41	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,8
40	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
39	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	0,84	0,82
38	0,85	0,84	1,03	1,1	1,23	1,23	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83
37	0,86	0,84	1,03	1,1	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
36	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84
35	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
34	0,88	0,85	1,03	1,09	1,2	1,2	1,22	1,16	1,03	0,97	0,87	0,86
33	0,88	0,86	1,03	1,09	1,19	1,2	1,22	1,15	1,03	0,97	0,88	0,86
32	0,89	0,86	1,03	1,08	1,19	1,19	1,21	1,15	1,03	0,98	0,88	0,87
31	0,9	0,87	1,03	1,08	1,18	1,18	1,2	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
30	0,9	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,2	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
29	0,91	0,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	0,98	0,9	0,89
28	0,91	0,88	1,03	1,07	1,16	1,16	1,18	1,13	1,02	0,98	0,9	0,9

Bujur / Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sept	Okt	Nov	Des
27	0,92	0,88	1,03	1,07	1,16	1,15	1,18	1,13	1,02	0,99	0,9	0,9
26	0,92	0,88	1,03	1,06	1,15	1,15	1,17	1,12	1,02	0,99	0,91	0,91
25	0,93	0,89	1,03	1,06	1,15	1,14	1,17	1,12	1,02	0,99	0,91	0,91
20	0,95	0,9	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1	0,93	0,94
15	0,97	0,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	0,95	0,97
10	1	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,01	1,02	0,98	0,99
5	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02
0	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1	1,04	1,01	1,04
-5	1,06	0,95	1,04	1	1,02	0,99	1,02	1,03	1	1,05	1,03	1,06
-10	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1	1,01	1	1,06	1,05	1,1
-15	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1	1	1,07	1,07	1,12
-20	1,14	1	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1	1,08	1,09	1,15
-25	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1	1,1	1,11	1,18
-30	1,2	1,03	1,06	0,95	0,92	0,85	0,9	0,96	1	1,12	1,14	1,21
-35	1,23	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1	1,13	1,17	1,25
-40	1,27	1,06	1,07	0,93	0,86	0,78	0,84	0,92	1	1,15	1,2	1,29
-42	1,28	1,07	1,07	0,92	0,85	0,76	0,82	0,92	1	1,16	1,22	1,31
-44	1,3	1,08	1,07	0,92	0,83	0,74	0,81	0,91	0,99	1,17	1,23	1,33
-46	1,32	1,1	1,07	0,91	0,82	0,72	0,79	0,9	0,99	1,17	1,25	1,35
-48	1,34	1,11	1,08	0,9	0,8	0,7	0,76	0,89	0,99	1,18	1,27	1,37
-50	1,37	1,12	1,08	0,89	0,77	0,67	0,74	0,88	0,99	1,19	1,29	1,41

Sumber: Sosrodarsono dan Takeda, 2003

Perhitungan:

- Koefisien penyesuaian pada stasiun hujan pada bulan Januari

Stasiun Pacet terletak pada garis lintang -7,662866667 (Tabel 5.8), maka dengan melihat Tabel 5.9 garis lintang terletak antara -5 dan -10. Dengan melakukan interpolasi diperoleh nilai 1,07065. Perhitungan selengkapnya koefisien penyesuaian menurut garis lintang pada stasiun hujan dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Perhitungan Koefisien Penyesuaian Menurut Garis Lintang/ Bujur

POS HUJAN	Y	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
Pacet	-7,662866667	1,07065	0,96065	1,04533	0,99467	1,01467	0,97402

lanjutan

POS HUJAN	Y	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
Pacet	-7,662866667	1,00935	1,01935	1	1,05533	1,04065	1,0813

Sumber: Hasil Perhitungan

5.1.8. Evapotranspirasi Potensial (PE) Wilayah

Untuk memperhitungkan nilai evapotranspirasi potensial (PE) wilayah, maka perlu dikonversi nilai evapotranspirasi potensial yang ada dengan koefisien penyesuaian menurut garis lintang/ bujur. Untuk mengkonversi nilai evapotranspirasi potensial dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$PE = f \cdot PE_x$$

Stasiun Hujan Pacet

Koefisien penyesuaian pada stasiun hujan pada bulan Januari

Dengan mengacu pada Tabel 5.7 diketahui nilai PE_x adalah 93,4 mm, sedangkan nilai f (Tabel 5.10) diperoleh koefisien sebesar 1,07065 Dengan demikian dapat dihitung:

$$\begin{aligned} PE &= 1,07065 \times 93,4 \text{ mm} \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil konversi selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut

Tabel 5.11. Evapotranspirasi Potensial (PE) Stasiun Hujan Pacet (mm)

TAHUN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	TOTAL
2000	100,0	89,7	99,9	92,9	95,9	80,8	75,9	80,6	93,4	99,7	99,5	102,2	1110,6
2001	98,3	88,2	97,1	94,6	92,1	85,3	80,2	77,0	111,4	101,5	103,7	98,1	1127,5
2002	99,4	92,4	98,2	95,6	96,4	81,2	79,1	73,0	83,3	111,2	113,3	110,1	1133,1
2003	101,1	91,8	99,9	99,4	94,7	83,7	68,5	79,5	89,1	103,1	104,0	98,6	1113,5

TAHUN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	TOTAL
2004	100,7	91,4	92,7	100,2	95,4	79,3	82,2	77,0	88,7	106,4	109,7	102,9	1126,7
2005	101,6	93,3	101,6	94,4	94,1	90,3	81,9	81,7	92,7	104,9	101,1	95,6	1133,2
2006	103,3	88,5	97,4	94,9	93,5	75,8	75,7	73,6	79,8	105,4	118,7	115,5	1122,1
2007	102,2	90,7	96,4	95,0	96,9	85,7	79,6	75,6	83,9	107,9	100,5	100,9	1115,1
2008	100,3	90,0	92,4	93,2	89,7	79,3	73,5	80,0	89,5	111,8	104,4	97,9	1102,0
2009	98,0	87,9	97,9	99,9	97,3	83,9	77,8	80,5	89,3	107,2	111,9	108,6	1140,3
2010	100,7	92,0	104,6	94,2	104,2	91,0	88,0	91,0	93,5	102,2	105,2	101,8	1168,4
2011	105,8	93,0	94,8	91,0	94,2	76,5	77,7	77,7	85,4	106,7	102,4	105,5	1110,8
2012	99,0	88,9	99,4	94,9	95,3	81,7	74,3	75,3	87,1	110,3	110,2	103,6	1120,0

Sumber: Hasil Perhitungan

5.2. Tataguna Lahan Daerah Tangkapan Air Sumber Jubel

Tataguna lahan daerah tangkapan Sumber Jubel terdiri dari hutan tanaman, pertanian lahan kering, dan belukar. Penggunaan lahan ini perlu diketahui untuk menentukan besarnya koefisien *run off* (Cro) wilayah yang digunakan dalam perhitungan debit air yang meresap ke dalam tanah. Untuk menentukan besarnya Cro wilayah dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$Cro = \frac{A_1.C_1 + A_2.C_2 + + A_n.C_n}{A_1 + A_2 + + A_n}$$

Dengan:

C_{ro} = koefisien aliran permukaan DAS

C_i = koefisien aliran permukaan jenis penutup lahan i,

A_i = luas penutup lahan dengan jenis penutup lahan i,

n = jumlah jenis penutup lahan

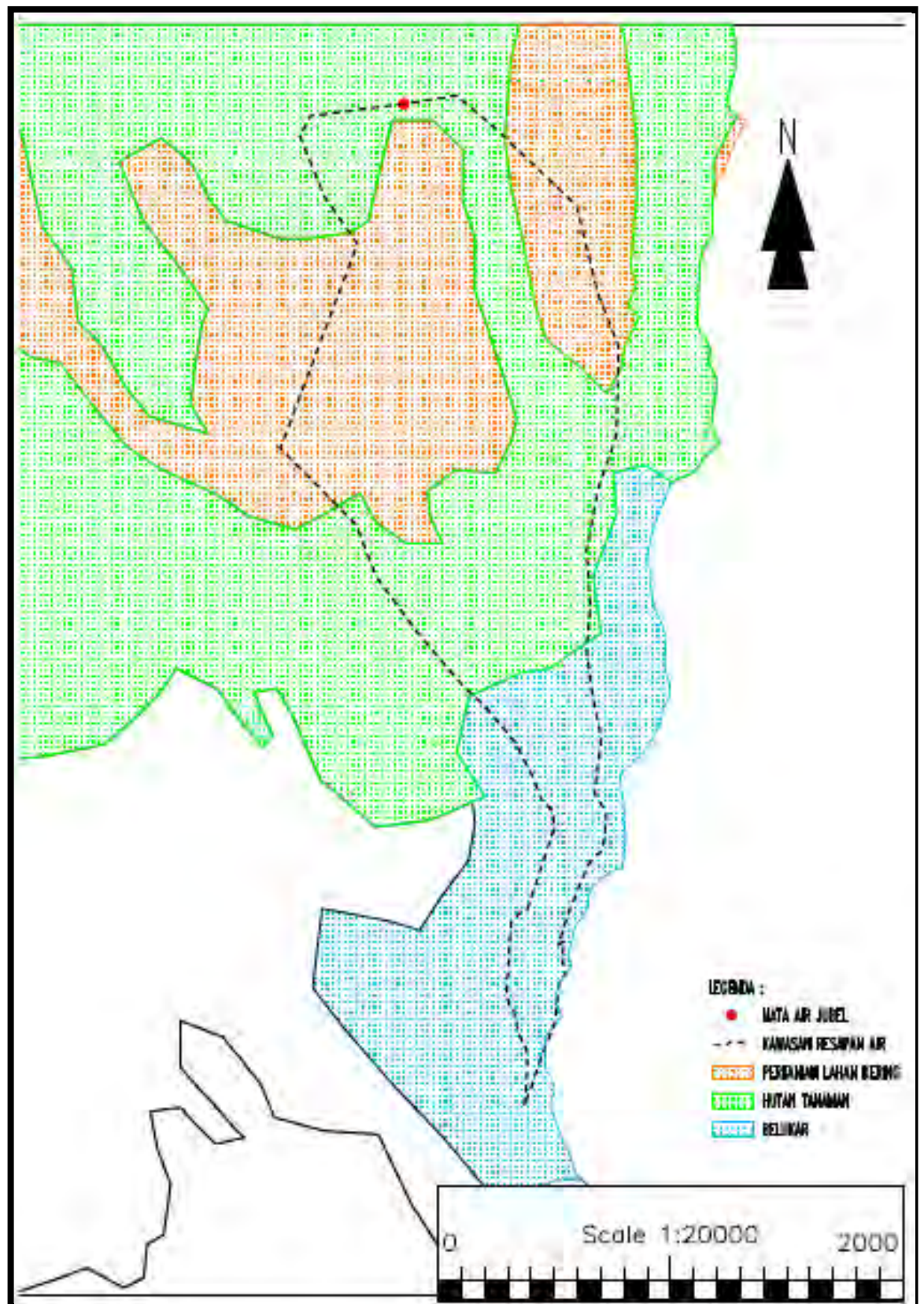
Tabel 5.12 Perhitungan Koefisien Aliran Permukaan Wilayah Sumber Jubel

Tata Guna Lahan	A (km ²)	C ¹⁾	C*A
pertanian lahan kering	1,31	0,5	0,65
hutan tanaman	1,29	0,01	0,0129
belukar	0,44	0,3	0,132

Sumber: Mukhoriyah, 2012

$$\begin{aligned} \text{Cro} &= \frac{0,65 + 0,0129 + 0,132}{1,31 + 1,29 + 0,44} \\ &= 0,26 \end{aligned}$$

Gambaran penggunaan lahan pada *catchment area* Sumber Jubel dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Penggunaan lahan daerah tangkapan air Sumber Jubel

5.3. Perhitungan Debit Air yang meresap ke dalam Tanah

Menurut metode Ffolliot besarnya debit air yang meresap ke dalam tanah pada suatu wilayah dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$R = (P - PE) \cdot A_i \cdot (1 - C_{ro})$$

Keterangan:

R = Volume air yang meresap ke dalam tanah (m^3)

P = Curah hujan (mm/tahun)

PE = Evapotranspirasi Potensial (mm/tahun)

A_i = Luasan *catchment area* (km^2)

C_{ro} = Koefisien limpasan permukaan

Misalkan untuk perhitungan Tahun 2000 besarnya air yang meresap ke kedalam tanah adalah:

$$R = ((2.385/1.000) - (1.110,6/1000)) \times (3,04 \times 1.000.000) \times (1 - 0,26)$$

$$= 2.866.923 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Untuk perhitungan R selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.13

Tabel 5.13 Perhitungan besarnya debit air yang meresap ke dalam tanah pada catchment Sumber Jubel

TAHUN	P	PE	A	Cro	R
	mm/tahun	mm/tahun	km ²		m ³ /tahun
2000	2.385	1.110,59	3,04	0,26	2.866.923
2001	1.847	1.127,53	3,04	0,26	1.618.517
2002	2.144	1.133,15	3,04	0,26	2.274.019
2003	2.152	1.113,51	3,04	0,26	2.336.177
2004	2.415	1.126,67	3,04	0,26	2.898.223
2005	2.265	1.133,20	3,04	0,26	2.546.088
2006	2.313	1.122,09	3,04	0,26	2.679.061
2007	2.393	1.115,09	3,04	0,26	2.874.787
2008	2.192	1.101,99	3,04	0,26	2.452.085
2009	1.649	1.140,32	3,04	0,26	1.144.328
2010	3.746	1.168,39	3,04	0,26	5.798.597

2011	2.515	1.110,82	3,04	0,26	3.158.834
2012	2.081	1.120,00	3,04	0,26	2.161.859

Sumber: Hasil perhitungan

5.4. Perhitungan Debit Air yang keluar dari Sumber Jubel

Merupakan debit pemanfaatan Sumber Jubel untuk pemenuhan air bersih oleh PDAM Djoebel Tirta kabupaten Mojokerto dengan operasional selama 24 jam. Dengan demikian besarnya debit yang keluar per tahunnya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{output}} &= 18,4 \text{ liter/detik} \\
 &= 18,4 \times 3600 \times 24 \times 365 / 1000 = 580.262 \text{ m}^3/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

5.5. Perhitungan Neraca Air

Analisa neraca air didasarkan pada jumlah debit air yang masuk (inflow) dengan jumlah kebutuhan air yang diperlukan (outflow). Selisih antara debit inflow dengan outflow menggambarkan kondisi ketersediaan air pada daerah tangkapan Sumber Jubel. Jika selisih antara keduanya bernilai positif, maka kondisi ketersediaan air surplus, dan sebaliknya jika selisih antara keduanya bernilai negatif menunjukkan bahwa ketersediaan air mengalami defisit. Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung neraca air adalah sebagai berikut:

$$Q_{\text{ketersediaan}} = Q_{\text{kebutuhan}} \pm \Delta S$$

Keterangan :

$Q_{\text{ketersediaan}}$ = debit ketersediaan air tanah

$Q_{\text{kebutuhan}}$ = debit kebutuhan air tanah

ΔS = perubahan tampungan

Contoh perhitungan untuk tahun 2000 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \pm \Delta S &= R - Q_{\text{output}} \\
 &= 2.866.923 - 580.262 \\
 &= 2.286.661 \text{ (positif)} \rightarrow \text{surplus}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan tampungan air tanah selengkapnya dapat dilihat pada tabel 5.14

Tabel 5.14 Neraca Air pada Catchment Area Sumber Jubel

TAHUN	P	PE	A	Cro	R	Q air baku (jubel)	ΔS	Keterangan
	mm/th	mm/tahun	km ²		m ³ /tahun	m ³ /tahun	m ³ /tahun	
2000	2385	1110,59	3,04	0,26	2.866.923	580.262	2.286.661	Surplus
2001	1847	1127,53	3,04	0,26	1.618.517	580.262	1.038.254	Surplus
2002	2144	1133,15	3,04	0,26	2.274.019	580.262	1.693.757	Surplus
2003	2152	1113,51	3,04	0,26	2.336.177	580.262	1.755.915	Surplus
2004	2415	1126,67	3,04	0,26	2.898.223	580.262	2.317.961	Surplus
2005	2265	1133,20	3,04	0,26	2.546.088	580.262	1.965.826	Surplus
2006	2313	1122,09	3,04	0,26	2.679.061	580.262	2.098.799	Surplus
2007	2393	1115,09	3,04	0,26	2.874.787	580.262	2.294.525	Surplus
2008	2192	1101,99	3,04	0,26	2.452.085	580.262	1.871.823	Surplus
2009	1649	1140,32	3,04	0,26	1.144.328	580.262	564.066	Surplus
2010	3746	1168,39	3,04	0,26	5.798.597	580.262	5.218.335	Surplus
2011	2515	1110,82	3,04	0,26	3.158.834	580.262	2.578.571	Surplus
2012	2081	1120,00	3,04	0,26	2.161.859	580.262	1.581.597	Surplus

Sumber: Hasil perhitungan

Dari tabel 5.14 dapat diketahui bahwa kondisi neraca air di catchment area Sumber Jubel pada tahun 2000-2012 bernilai surplus. Diperkirakan permasalahan tidak pada *catchment area* tersebut, untuk itu diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap penyebab turunnya debit. Namun tetap perlu dilakukan konservasi sebagai bentuk pelestarian mata air.

5.6. Analisis Konservasi Sumber Air

5.6.1. Metode Vegetatif

Sumber Jubel terletak di Kecamatan Pacet yang merupakan bagian dari DAS Brantas dengan potensi berbagai jenis tanaman. Beberapa jenis tanaman konservasi yang sesuai dengan kondisi lahan resapan air Sumber Jubel antara lain pinus, gmelina (jati putih), sengon, dan bambu. Syarat tumbuh untuk tanaman-tanaman tersebut disajikan pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Syarat tumbuh jenis-jenis tanaman

No	Jenis Tanaman	Iklim	Ketinggian tempat	Jenis Tanah
1	Bambu	Curah hujan > 1000 mm/tahun	0 – 1500 m dpl	Berbagai jenis tanah
2	Jati Putih (<i>Gmelina arborea</i>)	Curah hujan 750-4500 mm/tahun	90-900 m dpl	Berbagai jenis tanah
3	Mahoni	Daerah tropis basah	0-1000 m dpl	Berbagai jenis tanah
4	Pinus	Curah hujan 1500-4000 mm/tahun	200-2000 m dpl	Berbagai jenis tanah dengan lapisan tanah yang tebal
5	Sengon	Curah hujan > 1500 mm/tahun	50-1500 m dpl	Berbagai jenis tanah

Sumber : BPDAS Brantas, 2012

5.6.1.1. Prioritas Tanaman Konservasi

Dalam Kajian Kesesuaian Jenis dan Lahan Hutan Kota Balai Penelitian Teknologi Agroforestry Bogor disebutkan untuk tujuan perlindungan sumber air, terhadap pohon yang dikembangkan perlu dipertimbangkan kemampuan penguapan airnya (evapotranspirasi). Semakin besar evapotranspirasinya, semakin cepat pula dalam menguras cadangan air tanah.

Tipologi tanaman memiliki pengaruh dalam menahan laju butiran air hujan dan mengurangi tenaga kinetik butiran air dan pelepasan partikel tanah sehingga pukulan butiran air dapat dikurangi dan mereduksi kehilangan tanah atau erosi (Widjajani, 2010). Selama peristiwa hujan, sebagian air hujan akan ditahan oleh tanaman sebelum mencapai permukaan bumi. Dengan pemilihan tanaman yang tepat diharapkan dapat mengurangi laju erosi yang terjadi. Semakin kecil laju erosi yang dihasilkan, semakin baik tanaman tersebut untuk dikembangkan. Dalam Tabel 5.16 dipaparkan besarnya evapotranspirasi dan laju erosi yang terjadi pada jenis pohon konservasi di lokasi resapan air Sumber Air Jubel.

Tabel 5.16 Urutan Prioritas Pengembangan Tanaman Konservasi

Jenis Tanaman	Evapotranspirasi		Laju Erosi		Total Nilai	Ranking
	mm/tahun	Nilai	ton/ha/tahun	Nilai		
Bambu	3000 ^{f)}	1	0,02 ^{b)}	5	6	3
Jati Putih	1300 ^{f)}	5	5,9 ^{g)}	2	7	2
Mahoni	2317,23 ^{a)}	2	4,96 ^{e)}	3	5	4
Pinus	1971,12 ^{d)}	3	24,45 ^{c)}	1	4	5
Sengon	1872,45 ^{e)}	4	0,034 ^{e)}	4	8	1

Sumber :

- a) Pujihearta, 1995
- b) Lubis, 2003
- c) Kusmana et al, 2004
- d) Indrajaya dkk, 2008
- e) Sukresno dkk, 2009
- f) Pasaribu, 2012
- g) Pratiwi, 2013

Dari Tabel 5.17 didapatkan prioritas pertama dan kedua pengembangan tanaman konservasi Sumber Jubel adalah Sengon dan Jati Putih. Dari kedua tanaman ini kemudian dibandingkan kemampuannya dalam menambah kapasitas simpanan air tanah.

Tabel 5.17 Kapasitas Simpanan Air Tanah Tanaman

No.	Jenis Tanaman	Tampungan (liter/ha/tahun)
1.	Sengon	3,66 juta
2.	Jati Putih	2,60 juta

Sumber : Pujihearta, 1997 dalam Dahlan, 2004

Dari Tabel 5.17 menurut Pujihearta, (1997) dalam Dahlan (2004) dengan curah hujan 3.489 mm/tahun sengon mampu menyimpan air tanah 3,66 juta liter/hektar . Sehingga sengon menjadi prioritas utama untuk menjadi tanaman konservasi di kawasan resapan Sumber Jubel karena dapat menambah cadangan air tanah lebih banyak daripada jati putih.

5.6.1.2 Penanaman Sengon

Dari Tabel 5.12 diketahui bahwa penggunaan lahan di kawasan resapan Sumber Jubel belum dapat mendukung terjadinya infiltrasi optimal karena sebagian besar wilayahnya yang berupa pertanian lahan kering dan semak belukar memiliki koefisien aliran permukaan yang besar yakni 0,5 dan 0,3. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya konservasi pada penggunaan jenis lahan tersebut. Untuk lahan pertanian digunakan metode non vegetatif, sedangkan pada belukar perlu ditanami vegetasi berupa sengon.

Tabel 5.18 Alih Fungsi Lahan Menjadi Hutan Tanaman Sengon

Semula	Menjadi	Luas ha
Tata Guna Lahan	Tata Guna Lahan	
Belukar	Hutan Sengon	44

Dari Tabel 5.18 dapat diketahui bahwa untuk mengalihkan tata guna lahan menjadi hutan, dibutuhkan area 44 ha lahan penanaman sengon.

Analisa biaya meliputi pengadaan bibit dan penanaman sengon. Bibit yang baik memiliki standar sebagai berikut :

- Umur $\pm 2,5 - 3$ bulan
- Tinggi 30 – 35cm
- Batang tegak dan kekar
- Warna daun hijau gelap
- Jumlah daun minimal 8 tangkai

Selain bibit yang baik, hal lain yang perlu diperhatikan adalah jarak tanam. Jarak tanam yang diberikan 4m x 2,5 m dengan populasi per hektar 1.000 pohon (Putri, 2009). Sehingga biaya yang diperlukan untuk per hektar pohon sengon yang meliputi pengadaan bibit dan penanaman secara garis besar adalah sebagai berikut:

Tabel 5.19 Analisa biaya penanaman sengon (per hektar)

No	Kegiatan	Volume	Biaya	
			Satuan	Jumlah
I.	Pengadaan Bibit	1.000 buah	2.000	2.000.000
II.	Penanaman			
	Pembersihan lahan	1 ha	1.000.000	1.000.000
	Pembuatan lubang	1000 buah	2.000	2.000.000
	Ongkos tanam	1000 buah	2.000	2.000.000
	Pemupukan	1 ha	1.000.000	1.000.000
	Peralatan	1 set	500.000	500.000
	Total			8.500.000

Sumber : Permana, 2013

Pengadaan bibit dengan kebutuhan 1.000 buah bibit per hektarnya dan estimasi harga Rp 2.000,- untuk tiap bibit. Sedangkan kegiatan penanaman terdiri dari:

- Pembersihan lahan yang diestimasi memerlukan 20 orang pekerja dengan upah Rp 50.000,- /OH.
- Pembuatan lubang dan ongkos tanam dengan upah masing-masing Rp 2.000,-
- Pemupukan dengan pupuk kandang, kebutuhan 2 ton/ha seharga Rp 10.000,-/30 kg dan upah 10 orang pekerja sebesar Rp 30.000,-/OH.
- Peralatan seperti cangkul, sabit, golok estimasi biaya 20 x Rp 25.000,-.

Sehingga untuk menanam 44 ha hutan sengon diperlukan anggaran sebesar 44 x Rp 8.500.000,- = Rp 374.000.000,-

5.6.2. Metode Non Vegetatif

5.6.2.1 Embung

a. Pengertian

Bangunan konservasi air berbentuk kolam untuk menampung air hujan dan air limpuhan atau air rembesan di lahan sawah tadah hujan yang berdrainase baik

b. Tujuan

Sebagai tempat persediaan air di musim kemarau, mengendalikan limpasan, serta dapat digunakan untuk berbagai keperluan (pertanian, peternakan, dan rumah tangga)

c. Persyaratan teknis

1. Kemiringan lereng: 0 -30 % (topografi bergelombang)
2. Penggunaan lahan: lahan tadah hujan
3. Tekstur liat s/d liat berdebu



Gambar 5.2 Tata letak embung yang ideal dalam siklus air

(Sumber : BP2TPDAS IBB, 2002)

d. Analisis Biaya

- Galian tanah embung dengan dimensi panjang 10 m, lebar 10 m, dan kedalaman 2,5 m = 243,4 HOK.
- Biaya : $243,4 \times \text{Rp } 58.000,- = \text{Rp } 14.111.400,-$

Menurut Kusnaedi (2011), untuk lahan 100 ha diperlukan tampungan sebesar 10.000 m^3 . Sehingga untuk pertanian lahan kering seluas 129 ha yang akan

dikonservasi membutuhkan tampungan sebesar 12.900 m³. Untuk tampungan sejumlah tersebut, maka banyaknya embung yang diperlukan adalah:

$$\begin{aligned} \text{jumlah embung} &= \frac{\text{Volume tampungan yang diperlukan (m}^3\text{)}}{\text{volume embung (m}^3\text{)}} \\ \text{jumlah embung} &= \frac{12.900}{10 \times 10 \times 2,5} \\ &= 52 \text{ buah.} \end{aligned}$$

Total biaya = 52 x Rp 14.111.400,- = Rp 733.792.800,-

5.6.2.2 Rorak

a. Pengertian

Teknik konservasi tanah dan air berupa pembuatan lubang-lubang buntu yang dibuat untuk meresapkan air ke dalam tanah serta menampung sedimen-sedimen dari bidang olah.

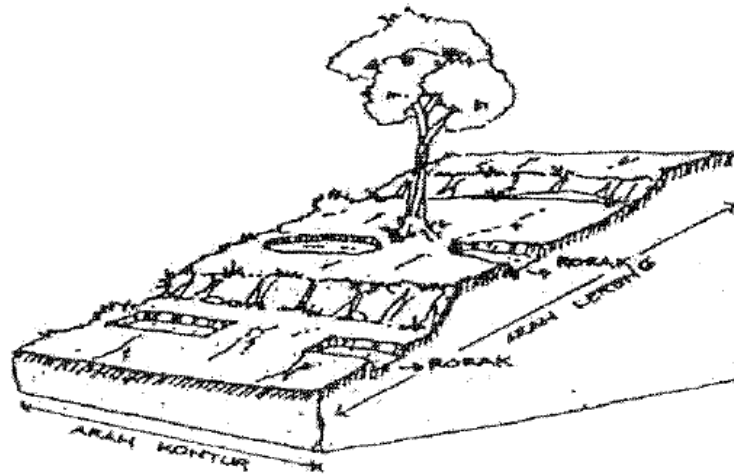
b. Tujuan

Untuk meningkatkan jumlah persediaan air tanah, menahan tanah yang tererosi (sedimen) dari bidang olah dan mengendalikan sedimen yang terkumpul ke bidang olah, serta dapat dikombinasikan dengan mulsa vertikal untuk memperoleh kompos.

c. Persyaratan teknis :

1. Kemiringan lereng: 3 - 30 %
2. Tekstur: kasar
3. Permeabilitas: cepat

d. Gambar Teknis



Gambar 5.3. Rorak yang Dibuat pada Teras
(Sumber : BP2TPDAS IBB, 2002)

e. Analisis biaya

- Kebutuhan tenaga untuk pembuatan rorak buntu dengan ukuran panjang 10 m, lebar 2 m dan dalam 1 m sebesar 16 HOK.
- Biaya : $16 \times \text{Rp } 58.000,- = \text{Rp } 928.000,-$

5.6.2.3 Teras

1. Teras Individu

a. Pengertian

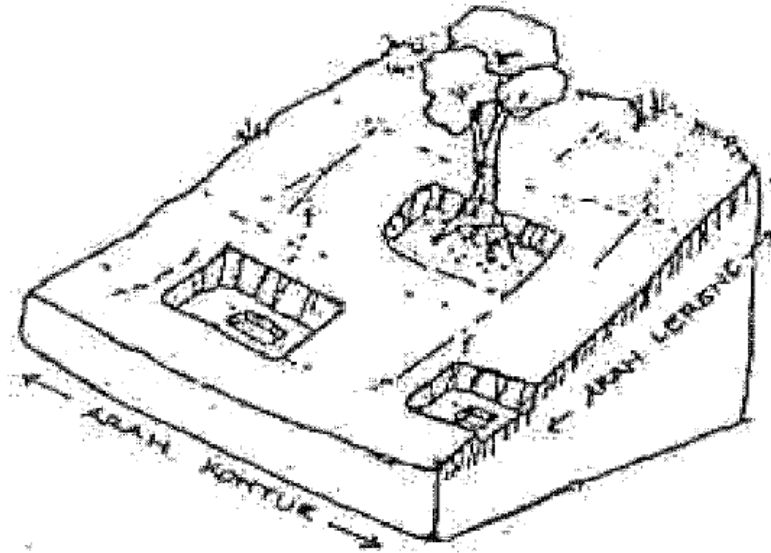
Bangunan konservasi tanah berupa teras yang dibuat hanya pada tempat-tempat yang akan ditanami tanaman pokok. Teras dibuat sejajar kontur dan membiarkan bagian lainnya tetap seperti keadaan semula yang biasanya ditanami tanaman penutup tanah.

b. Tujuan

Untuk mengendalikan erosi permukaan yang terjadi akibat penanaman tanaman pokok.

c. Persyaratan teknis

1. Kemiringan lereng: 10 - 50 %
2. Kedalaman tanah: > 30 cm
3. Penggunaan Lahan: tanaman kayu dengan tanaman penutup tanah



Gambar 5.4. Teras Individu
(Sumber : BP2TPDAS IBB, 2002)

d. Info Teknis Lainnya

Cara pembuatan teras individu

(a) Persiapan

- o Patok induk dipasang mengikuti lereng (tegak lurus kontur). Jarak antara 2 patok induk disesuaikan dengan rencana jarak tanam.
- o Patok pembantu menghubungkan 2 patok induk yang berdampingan pada ketinggian yang sama, masing-masing dipasang di kanan dan kiri patok induk.

(b) Pembuatan bangunan teras

- o Buat batas galian dengan mencangkul tanah mulai dari bagian bawah patok pembantu melalui pencangkulan tanah, panjang 2 m

- o Gali tanah di bagian bawah batas galian dan timbunkan ke bagian bawah sehingga membuat bidang datar dengan panjang 2 m, lebar 1 m atau disesuaikan dengan keperluan tiap jenis tanaman
 - o Tanah urugan dipadatkan dan di bagian tepi khususnya di bawah lereng (bagian timbunan) diberi patok-patok penguat (trucuk)
 - o Tanah di sekeliling teras individu tidak diolah atau ditanami rumput/tanaman penutup tanah
- (c) Pemeliharaan
- o Memperbaiki bangunan teras yang rusak/longsor, mengeruk timbunan tanah di selokan teras atau rorak dan membersihkan jalur dari tumbuhan pengganggu

e. Analisis Biaya

Dimensi: 40 cm x 40 cm x 40 cm

Volume: 0,064 m³

Pekerjaan (per m³):

Pembersihan: Pekerja 0,01 HOK x Rp 58.000 = Rp 580,-

Galian: Pekerja 0,75 HOK x Rp 58.000 = Rp 43.500,-

Mandor 0,025 HOK x Rp 81.000 = Rp 2.025,-

Urugan: Pekerja 1,08 HOK x Rp 58.000 = Rp 62.640,-

Mandor 0,035 HOK x Rp 81.000 = Rp 2.835,-

Biaya pembuatan per lubang teras individu :

$$0.64 (Rp 580 + Rp 43.500 + Rp 2.025 + Rp 62.640 + Rp 2.835) = Rp 7.141,12$$

2. Teras Bangku

a. Pengertian

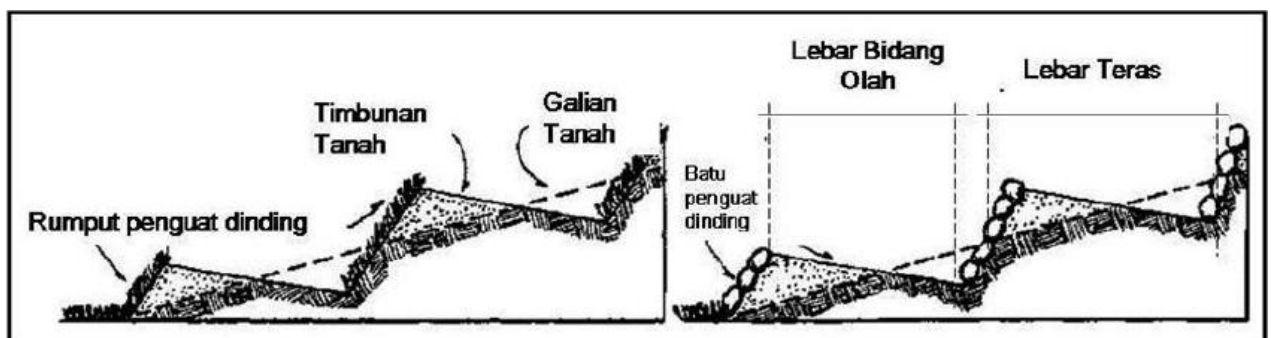
Serangkaian dataran yang dibangun sepanjang kontur pada interval yang sesuai. Bangunan ini dilengkapi dengan penanaman rumput untuk penguat teras. Jenis teras bangku ada yang miring keluar dan miring ke dalam.

b. Tujuan

1. Untuk menyerap aliran permukaan dan mengendalikan erosi
2. Sebagai bidang olah pada lahan miring.

c. Persyaratan Teknis

4. Sesuai untuk daerah pertanian yang berlereng dengan kedalaman tanah yang cukup. Praktek pengendalian erosi ini diadopsi untuk memfasilitasi sistem pertanian tertentu dengan teknik-teknik mekanis.
5. Bila terdapat teknik pengendalian erosi yang lebih murah maka teras bangku tidak perlu diterapkan.



Gambar 5.5. Penampang Melintang Teras Bangku
(Sumber : BP2TPDAS IBB, 2002)

d. Info Teknis Lainnya

1. Lebar: tergantung dari besarnya lereng, keclalarnan tanah , lanaman dan pola tanarnya.
2. Tampilan: Rasio tampilan atas dengan lereng adalah I : 0,5 dan rasio tampilan bawah dengan lereng adalah I : 1-0,5, Penyesuaian harus

dilakukan tergantung dari tipe tanah dan apakah tampingan akan ditanami rumput atau akan ditutup dengan batu. Tampingan teras bangku miring ke luar harus ditutup rumput secara rapat dan merata.

e. Analisis Biaya

Untuk kemiringan 15-25% dibutuhkan 801 HOK per hektarnya.

Biaya : 801 x Rp 58.000,- = Rp 46.458.000,-

5.7. Penambahan volume air tanah Embung

Menurut jenis tanah yang ada di lokasi studi, metode konservasi non vegetatif yang sesuai adalah dengan pembuatan embung. Untuk menghitung volume air tanah yang dapat diresapkan embung digunakan metode pada sumur resapan yang sesuai dengan SNI 03-2453-2002 dengan perumusan sebagai berikut:

$$V_{rsp} = \frac{t_e}{24} A_{total} K \quad \text{dengan :} \quad t_e = \frac{R^{0,92}}{60}$$

di mana :

- K : kecepatan infiltrasi tanah (m/hari)
- te : durasi hujan efektif (jam)
- R : tinggi hujan harian rata-rata (L/m²/hari)
- A_{total} : luas dinding + luas alas sumur (m²)
- V_{rsp} : volume air hujan yang meresap (m³)

5.7.1. Analisa Curah Hujan Rata-rata

Data hujan yang digunakan untuk menghitung tinggi hujan harian rata-rata diperoleh dari pos penakar hujan Stasiun Pengamat Pacet No. 186 dengan data yang dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Perhitungan Curah Hujan Rata-rata

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)
2001	97
2002	128
2003	92
2004	225
2005	95
2006	124
2007	109
2008	87
2009	94
2010	100

Sumber : BBWS Brantas, 2013

5.7.2. Analisa Curah Hujan Harian Maksimum

5.7.2.1 Analisa Frekuensi Curah Hujan

Analisa frekuensi curah hujan diperlukan untuk menentukan jenis sebaran (distribusi). Perhitungan analisa frekuensi curah hujan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.21.

Tabel 5.21 Analisa Frekuensi Curah Hujan

No.	Xi	(Xi-X)	(Xi-X) ²	(Xi-X) ³	(Xi-X) ⁴
1	225	109,9	12078,01	1327373,30	145878325,56
2	128	12,9	166,41	2146,69	27692,29
3	124	8,9	79,21	704,97	6274,22
4	109	-6,1	37,21	-226,98	1384,58
5	100	-15,1	228,01	-3442,95	51988,56
6	97	-18,1	327,61	-5929,74	107328,31
7	95	-20,1	404,01	-8120,60	163224,08
8	94	-21,1	445,21	-9393,93	198211,94
9	92	-23,1	533,61	-12326,39	284739,63
10	87	-28,1	789,61	-22188,04	623483,95
Total	1151	0	15.089	1.268.596	147.342.653
X	115,1				
S			40,9456		

Dari tabel di atas dapat dihitung faktor – faktor uji distribusi sebagai berikut :

1. Harga rata – rata (\bar{X})

$$\bar{X} = \sum X_i / n = 1.151/10 = 115,1$$

2. Standar deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = 40,9456$$

3. Koefisien *Skewness*/kemencengan (C_s)

$$C_s = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1) \times (n-2) \times S^3} = 2,5667$$

- 4.

$$C_k = \frac{n^2 \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1) \times (n-2) \times (n-3) \times S^4} = 10,4008$$

5. Koefisien Variasi (C_v)

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} = 0,3557$$

Dari faktor – faktor di atas dapat ditentukan metode mana yang bisa dipakai, seperti disajikan dalam tabel 5.22.

Tabel 5.22. Hasil Uji Distribusi Statistik

No	Jenis Distribusi	Syarat	Perhitungan	Kesimpulan
1	Normal	$C_s \approx 0$ $C_k = 0$	$C_s = 2,5667$ $C_k = 10,4008$	Tidak memenuhi
2	Gumbel	$C_s \leq 1,1396$ $C_k \leq 5,4002$	$C_s = 2,5667$ $C_k = 10,4008$	Tidak memenuhi
3	Log Pearson	$C_s \neq 0$	$C_s = 2,5667$	Memenuhi
4	Log Normal	$C_s \approx 3C_v + C_v^2 = 0,3$	$C_s = 1,1938$	Tidak memenuhi

Berdasarkan perbandingan hasil perhitungan dan syarat pada tabel 5.22, maka dapat dipilih jenis distribusi yang memenuhi syarat, yaitu Distribusi Log Pearson.

Tabel 5.23. Parameter Uji Distribusi Statistik dalam Log

No	R(Xi)	Log Xi	(LogXi - LogXr)	(LogXi - LogXr) ²	(LogXi - LogXr) ³	(LogXi - LogXr) ⁴
1	225	2,3522	0,3091	0,10	0,0295	0,0091
2	128	2,1072	0,0641	0,00	0,0003	0,0000
3	124	2,0934	0,0503	0,00	0,0001	0,0000
4	109	2,0374	-0,0057	0,00	0,0000	0,0000
5	100	2,0000	-0,0431	0,00	-0,0001	0,0000
6	97	1,9868	-0,0563	0,00	-0,0002	0,0000
7	95	1,9777	-0,0654	0,00	-0,0003	0,0000
8	94	1,9731	-0,0700	0,00	-0,0003	0,0000
9	92	1,9638	-0,0793	0,01	-0,0005	0,0000
10	87	1,9395	-0,1036	0,01	-0,0011	0,0001
Jumlah	1151	20,4312	0,0000	0,1334	0,0274	0,0094
Xr	115,1	2,0431				

Dari tabel di atas dapat dihitung faktor – faktor uji distribusi sebagai berikut :

1. Harga rata-rata : $\log X_r = 2,0431$
2. Standar deviasi : 0,1218
3. Koefisien *Skewness*/kemencengan (Cs) : 2,1098
4. Koefisien Kurtosis (Ck) : 8,4482
5. Koefisien Variasi (Cv) : 0,00106

5.7.2.2 (Uji Sebaran Metode Chi Kuadrat)

Pengujian kesesuaian dengan sebaran adalah untuk menguji apakah sebaran yang dipilih dalam pembuatan kurva cocok dengan sebaran empirisnya. Uji Chi Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik data yang dianalisis.

Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter X^2Cr yang dihitung dengan rumus :

$$X^2Cr = \sum_{i=1}^n \left[\frac{Efi - Ofi}{Efi} \right]^2$$

di mana :

X^2Cr : harga Chi Kuadrat

Efi : banyaknya frekuensi yang diharapkan

Ofi : frekuensi yang terbaca pada kelas i

n : jumlah data

Prosedur perhitungan uji Chi Kuadrat adalah :

1. Urutkan data pengamatan dari besar ke kecil
2. Hitunglah jumlah kelas yang ada (K) = $1 + 3,322 \log n$. Dalam pembagian kelas disarankan agar setiap kelas terdapat minimal tiga buah pengamatan.

3. Hitung nilai $Ef = \left[\frac{\sum n}{\sum K} \right]$

4. Hitunglah banyaknya Of untuk masing – masing kelas.
5. Hitung nilai X^2Cr untuk setiap kelas kemudian hitung nilai total X^2Cr dari tabel untuk derajat nyata tertentu yang sering diambil sebesar 5% dengan parameter derajat kebebasan.

Rumus derajat kebebasan adalah :

$$DK = K - (R + 1)$$

Di mana :

DK : derajat kebebasan

K : kelas

R : banyaknya keterikatan (biasanya diambil $R = 2$ untuk distribusi normal dan binomial dan $R = 1$ untuk distribusi Poisson dan Gumbel).

Perhitungan :

$$K = 1 + 3,322 \log n = 1 + 3,322 \log 10 = 4,322 \approx 5$$

$$DK = K - (R + 1) = 5 - (1 + 1) = 3$$

Tabel 5.24. Nilai Kritis untuk Uji Chi Kuadrat

DK	α							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000928	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,1000	0,021	0,05806	0,103	5,991	7,378	9,210	10,579
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,4848	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750

Untuk DK = 2, signifikasi (α) = 5 % maka dari Tabel 5.24 harga X^2_{Cr} = 7,815

Ef = 10/4 = 2,5

$$\Delta x = \frac{R_{terbesar} - R_{terkecil}}{K - 1} = (2,3522 - 1,9395) / 4 = 0,4127 / 4 = 0,1031$$

$$0,5 \Delta x = 0,0515$$

$$X_{awal} = \left[R_{terkecil} - \frac{1}{2} \Delta x \right] = (1,9395 - 0,0515) = 1,8880$$

Tabel 5.25. Perhitungan X^2_{Cr}

Nilai Batas Tiap Kelas	Ef	Of	(Ef-Of) ²	(Ef-Of) ² /Ef
1,8880 < Ri < 1,9911	2,5	5	6,25	2,5
1,9911 < Ri < 2,0942	2,5	3	0,25	0,1
2,0942 < Ri < 2,1973	2,5	1	2,25	0,9
2,1973 < Ri < 2,3004	2,5	0	6,25	2,5
2,3004 < Ri < 2,4035	2,5	1	2,25	0,9
Jumlah	10	10		6,9

Karena nilai X^2_{Cr} analisis < X^2_{Cr} tabel (6,9 < 7,815) maka untuk menghitung curah hujan rencana dapat menggunakan distribusi Log Pearson Type III.

5.7.2.3 Perhitungan Curah Hujan Maksimum

Analisis curah hujan rencana ini bertujuan untuk mengetahui besarnya curah hujan maksimum dalam periode ulang tertentu yang nantinya dipergunakan untuk perhitungan debit banjir rencana. Perhitungan curah hujan rencana dengan metode Log Pearson III menggunakan parameter – parameter statistik yang diambil dari Tabel 5.24. Parameter yang digunakan adalah sebagai berikut :

Nilai rata – rata (log X_r) : 2,0431

Deviasi standar (S) : 0,1218

Koefisien Skewness (Cs) : 2,1098

Logaritma data pada interval pengulangan atau kemungkinan prosentase yang terpilih :

$$\text{Log } R = \log X_r + k \cdot S$$

Harga k tergantung nilai Cs yang sudah didapat.

Cs : 2,1098 \rightarrow K = -0,319

$$\text{Log } R = 2,0431 - 0,319 \cdot 0,1218 = 2,0042$$

$$R = 100,98 \text{ mm}$$

5.7.2.4 Volume Resapan Embung

Setelah tinggi hujan harian rata-rata (R) diketahui, maka volume resapan sumur dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{rsp} = \frac{t_e}{24} A_{total} K \quad t_e = 0,9 \times \frac{R^{0,92}}{60}$$

K : kecepatan infiltrasi tanah untuk lempung berliat

$$: 7,5 \text{ mm/jam} = 0,18 \text{ m/hari}$$

t_e : durasi hujan efektif

$$: 0,9 \times ((100,98^{0,92}) / 60) = 1,047 \text{ jam}$$

A_{total} : luas dinding + luas alas sumur

$$: (4 \times 10 \times 2,5) + (10 \times 10) = 200 \text{ m}^2$$

V_{rsp} : volume air hujan yang meresap
 : $(1,047/24) \times 200 \times 0,18 = 1,571 \text{ m}^3/\text{hari}$

Jika setiap tahun terdapat 6 bulan basah dengan 15 hari hujan per bulannya, maka dalam setahun volume air hujan yang dapat terinfiltrasi ke dalam tanah adalah :
 $= 1,383 \times 15 \times 6 = 141,39 \text{ m}^3/\text{tahun. (per embung)}$

Penambahan volume air tanah total untuk 52 embung yang perlu dibangun adalah:
 $= 52 \times 141,39$
 $= 7352,28 \text{ m}^3/\text{tahun.}$

5.8. Penambahan volume air tanah oleh penanaman sengon

Menurut Dahlan (2004) sengon yang berumur 2 tahun yang ditanam di daerah dengan curah hujan sebesar 3489 mm/tahun mempunyai kemampuan untuk meresapkan air di bawah tegakannya sebesar 10,48%, atau 366 mm/tahun. Pada usia 5-7 tahun tanaman sengon dapat dipanen tergantung pada kondisi yang diinginkan, contohnya ukuran diameter maupun tinggi batang. Dengan demikian, demi menjaga upaya konservasi, dapat dilakukan tebang pilih agar kegiatan pemanenan tidak berdampak negatif pada lingkungan.

Untuk penjabaran penambahan volume ketersediaan air tanah dengan adanya upaya konservasi adalah sebagai berikut:

Penambahan volume air tanah, jika diambil curah hujan rata-rata di daerah studi 2000 mm/tahun:

$$= 44 \times \left(\frac{366}{3.489} \times 2000 \right) \times 10$$

$$= 92.312,98 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Maka per hektarnya sengon mampu menambah volume air tanah sebesar:

$$= 92.312,98/44$$

$$= 2.098 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari studi ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil kajian menunjukkan bahwa *water balance* di daerah tangkapan Sumber Jubel tidak defisit, namun faktanya Sumber Jubel mengalami penurunan debit. Sehingga kemungkinan permasalahan Sumber Jubel bukan dari daerah tangkapan air tersebut dan bukan dari *unconfined aquifer*. Namun upaya konservasi tetap perlu dilakukan di daerah tangkapan airt tersebut untuk menjaga ketersediaan air pada daerah *unconfined aquifer*. Upaya konservasi yang dapat dilakukan di Sumber Jubel guna meningkatkan ketersediaan airnya adalah melakukan konservasi penanaman sengon pada area belukar dan metode embung pada area pertanian lahan kering.
2. Besar biaya yang diperlukan untuk upaya konservasi adalah Rp 374.000.000,- untuk penanaman 44 ha lahan sengon dan Rp 733.792.800,- untuk pembuatan 52 embung dengan dimensi 10 m x 10 m x 2,5 m.
3. Penambahan volume air tanah karena upaya konservasi dari penanaman tanaman sengon adalah 2.098 m³/tahun per hektar, sedangkan infiltrasi tiap embung adalah 141,39 m³/tahun.

6.2. Saran

Dari analisis data yang telah dilakukan dan dari kesimpulan yang diperoleh, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Diperlukan penelitian yang lebih mendalam terhadap faktor penyebab turunnya debit mata air.
2. Diperlukan survey dan investigasi yang lebih mendetail untuk menentukan lokasi pembangunan konservasi pada lokasi studi.
3. Diperlukan penelitian yang lebih lengkap terhadap vegetasi lain seperti

bambu, pinus, mahoni, dan jati putih.

4. Diperlukan pemetaan yang lebih lengkap tiap tahunnya terhadap tata guna lahan daerah studi guna mengetahui perubahan tutupan lahan yang terjadi.
5. Diperlukan peraturan dan lembaga yang dapat mengelola dan menjaga upaya konservasi. Contohnya membentuk suatu organisasi masyarakat lokal yang tinggal disekitar BKPH Pacet untuk ikut menjaga manfaat jangka panjang dari konservasi ini seperti melakukan tebang pilih pada tanaman konservasi apabila telah panen, agar tidak serta merta melakukan penebangan yang dapat memberikan dampak negatif pada lingkungan.
6. Diperlukan peran aktif dari masyarakat agar manfaat konservasi dapat terus dirasakan. Seperti ikut melestarikan dan menjaga agar tidak merusak upaya konservasi yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, Agung. 2007. Analisis Morfometri Daerah Pemetaan.
- Alvitasari, Devi. 2013. Morfologi Tumbuhan Identifikasi Tanaman Pinus Merkusii.
- Ariesta, Dian. 2013. Studi Potensi Penerapan Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan Pada Kecamatan Rungkut Kota Surabaya, Surabaya.
- Arsyad, S (1989), Konservasi Tanah Dan Air, IPB Press, Bogor.
- Arsyad, S (2000). Konservasi Tanah Dan Air. UPT Produksi Media Informasi. Lembaga Sumberdaya Informasi. Institut Pertanian Bogor. IPB Press, Bogor.
- Arthana, I.W. 2007. Studi Kualitas Air Beberapa Mata Air Di Sekitar Bedugul, Bali.
- Balai Besar Wilayah Sungai Brantas (2013), *Data Dan Informasi*, BBWS Brantas, Surabaya.
- BP2TPDAS IBB, 2002. Pedoman Praktik Konservasi Tanah dan Air, Departemen Kehutanan, Surakarta.
- BPDAS Brantas, 2012. Laporan Kesesuaian Lahan dengan Sebaran Tanaman di Wilayah DAS Brantas, BPDAS Brantas, Surabaya.
- BPS, Kabupaten Mojokerto. 2012. Kabupaten Mojokerto Dalam Angka 2012. Katalog BPS. Kabupaten Mojokerto Badan Pusat Statistik Kabupaten Mojokerto.
- Buol, S.W; F.D. Hole, and R.J. Mc.Cracken. 1980. Soil Genesis and Classification. The IOWA State University Press, Ames.
- Chang, M. 2003. Forest Hidrology: An Introduction to Water and Forests. CRC Press LCC.

- Dahlan, E.N. 2004. Membangun Kota Kebun (Garden City) Bernuansa Hutan Kota, Kerjasama IPB Press dengan Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.
- Dudal R, M Soeprtoharjo. 1957. Soil classification in Indonesia. Bogor.
- Davis and de Wiest 1966. Hydrodeology. Krieger publishing company. Malabar. Florida
- Garland, L. 2004. Bamboo and Watersheds (a practical, economic solution to conservation and development). Holland : EBF (Environmental Bamboo Foundation).
- Greenway, D.R. 1987. Vegetation and Slope Stability.
- Gureti, Pamela. 2011. Studi Efektifitas sumur resapan dalam mengurangi air limpasan hujan (Studi kasus kota Surabaya), Surabaya.
- Hakim et al. 1986. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Universitas Lampung Press. Lampung.
- Hanafiah, K.A. 2005. Dasar-dasar ilmu tanah. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Hartanto, D, 2010. Kontribusi Akar Tanaman Rumput Dan Bambu Terhadap Peningkatan Kuat Geser Tanah Pada Lerengan.
- IUWASH. 2014. Profil Daerah Jatim. Jawa timur.
- Kadarsah. 2008. Aplikasi Sistem Informasi Meteorologi terhadap Indeks Kekeringan Dengan Ketersediaan Air Tanah (Studi Wilayah Jabotabek), Bandung.
- Kartasapoetra, A.G, (1989), *Kerusakan Tanah Pertanian dan Usaha Untuk Merehabilitasinya*. Bina Aksara. Jakarta
- Kashef, Abdel-Azis I, 1987, *Groundwater Engineering*, McGraw-Hill Book Co.
- Kennedy, A.C. and R.I. Papendik. 2002. Microbial characteristic of soil quality. J. Soil and Water Cons.

- Kesuma, RW. 2012. Studi Pemaksimalan Resapan Air Hujan Menggunakan Lubang Resapan Resapan Biopori Untuk Mengatasi Banjir (Studi Kasus Kecamatan Dayeuh Kolot Kabupaten Bandung). Bandung.
- Kodoatie, J.R, dan Sjarief, Roestam (2010), *Tata Ruang Air*, edisi pertama, Andi Offset, Yogyakarta.
- Kodoatie, Robert J., 2012, *Tata Ruang Air Tanah*, Yogyakarta, Penerbit Andi.
- Kusmana, C., Istomo, Wilarso,S., Dahlan,E.N, dan Onrizal, 2004. Upaya Rehabilitasi Hutan dan Lahan Dalam Pemulihan Kualitas Lingkungan.
- Kusnaedi, 2011, Sumur Resapan untuk Pemukiman, Perkotaan dan Pedesaan, Jakarta, Penerbit Penebar Swadaya.
- Kustamar dkk, 2010. Konservasi Sumber Air Berbasis Partisipasi Masyarakat Di Kota Batu Jawa Timur, Kota Batu.
- Lubis, K.S, 2003. Bahaya Erosi Pada Beberapa Penggunaan Lahan Incepticol Desa Telagah Kecamatan Sei Binggei Kabupaten Langkat.
- Mahbub, M. 2012. Menghitung Debit Puncak (Q) Dan Koefisien Run Off (C). Penuntun Praktikum Agrohidrologi. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin.
- Mukhoriyah, Trisakti B., 2014. Kajian Kondisi Daerah Tangkapan Air Danau Kerinci Berdasarkan Perubahan Penutup Lahan Dan Koefisien Aliran Permukaan.
- Pasaribu, H., 2012. Neraca Air Di Perkebunan Kelapa Sawit Di Ppks Sub Unit Kaliana Kabun Riau.
- PDAM Kabupaten Mojokerto, 2009. Sejarah PDAM Kabupaten Mojokerto, Mojokerto.
- PDAM Kabupaten Mojokerto, 2012. Laporan Singkat Hasil Survey Sumber Daya Air Baku Dan Perlindungan Mata Air, Mojokerto.

- Peraturan Daerah Kabupaten Mojokerto, No.9. 2012. Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Mojokerto.
- Peraturan Pemerintah, No.42. 2008. Pengelolaan Sumber Daya Air.
- Permana, G.I., 2013. Rencana Budidaya Sengon. Yogyakarta.
- Pratiwi, 2013. Aplikasi Teknik Konservasi Tanah Dengan Sistem Rorak Pada Tanaman Gmelina (Gmelina Arborea Roxb.) Di Khdtk Carita, Banten.
- Priyono, C.N.S dan S. Siswamartana, 2002. Hutan Pinus dan Hasil Air. Pusat Pengembangan Sumber Daya Hutan Perhutan, Cepu. Puslittanak 1991. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Putri, D.I.P., 2009. Analisis Budidaya Dan Produksi Kayu Sengon Sebagai Bahan Baku Plywood Untuk Ekspor Pada PT. Perkebunan Nusantara Xii (Persero), Surabaya.
- Riastika, Meyra. 2012. Pengelolaan Air Tanah Berbasis Konservasi Di Recharge Area Boyolali, Semarang.
- Sidharno, Willem 2013. Evaluasi Ketersediaan Sumber Air Baku Untuk Mendukung Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih Kota Kupang Dengan Skenario Dampak Perubahan Iklim, Surabaya.
- Sidharno, Willem 2013. Mitigasi Dampak Perubahan Iklim Pada Sektor Sumber Daya Air. Surabaya
- Sinukaban, N., 2003. Bahan Kuliah Teknologi Pengelolaan DAS. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Singer, H.A dan E. Purwanto., 2006. Misteri Kekayaan Hayati Hutan Lambusango. Program Konservasi Hutan Lambusango (PKHL). Bau-bau.
- Soemarto, C.D. 1987. Hidrologi Teknik. Penerbit Usaha Nasional. Surabaya.
- Soerianegara, I dan Lemmens, R.H.M.J. 1994. *Plant Resources of South-East Asia No.5(1). Timber Trees: major commercial timbers*. Wageningen, Netherlands: Pudoc Scientific Publishers.

- Soewarno. 2000. Hidrologi Operasional Jilid Kesatu. Penerbit PT Aditya Bakti. Bandung.
- Sofia, Siti dan A. Fiqa. 2010. Jenis-Jenis Pohon Di Sekitar Mata Air Dataran Tinggi Dan Rendah (Studi Kasus Kabupaten Malang). Pasuruan.
- Sofia, S., Fiqa, A.P., Karakterisasi Tumbuhan Lokal untuk Konservasi Tanah dan Air.
- Sri Harto. 2000. Hidrologi Teori Masalah Penyelesaian. Nafiri. Jakarta.
- Sosrodarsono, Suyono, dan Takeda, Kensaku (2003), *Hidrologi Untuk Pengairan*, edisi kesembilan, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sotir, R.B 1984. Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization..
- Suharto, Edi. 2006. Kapasitas Simpanan Air Tanah Pada Sistem Tata Guna Lahan LPP Tahura Raja Lelo Bengkulu. Bengkulu.
- Sukresno dkk, 2009. Dampak Hutan Tnaman Terhadap Erosi, Evapotranspirasi Dan Hidrologi
- Sunjoto., 2011. Teknik Drainase Pro-Air, Bahan Kuliah Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Suripin.2001. Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air. Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.
- Suryatmojo, H. 2006. Konsep Dasar Hidrologi Hutan. Jurusan Konservasi Sumber Daya Hutan, Fakultas Kehutanan UGM, Yogyakarta.
- Sutirto, 2012. Dampak Teknik Menabung Air Melalui Resapan Aliran Per permukaan (Studi Kasus di Daerah Tangkapan Air Kota Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur).
- Tambun, Nohanamian. 2010. “Perhitungan Debit Andalan Sebagai Sumber Air Bersih Jayapura, Surabaya”.
- Triatmodjo, Bambang, (2010), *Hidrologi Terapan*, edisi kedua, Beta Offset, Yogyakarta.

Undang-Undang Republik Indonesia, No 7 . 2004. Sumber Daya Air.

Walton, W.C. 1970. Groundwater Resource Evaluation, McGraw-Hill. New York.

Widjajani, B. Wisnu, 2010. Tipologi Tanaman Penahan Erosi (Studi Kasus di Hutan Jati).

Wilson, G.W. 1993. Coupled Soil-Atmosphere Modelling For Soil Evaporation.
Canada.